

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CARACTÉRISATION DE L'USAGE DES JACHÈRES FORESTIÈRES PAR LES
PETITS AGRICULTEURS DE LA RÉGION DU RIO TAPAJÓS, EN AMAZONIE
BRÉSILIENNE : UN LEVIER POUR PROMOUVOIR UNE EXPLOITATION
DURABLE DU TERRITOIRE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

CYNTHIA PATRY

JUIN 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement Robert Davidson, mon directeur qui a cru en mon potentiel, en mes idées, en mon projet et qui tout au long de mon cheminement dans la maîtrise a été au-delà de mes attentes. Sa grande générosité et son enthousiasme ont motivé chacune de mes avancées. Merci également à Marc Lucotte, mon codirecteur sans qui ce projet ne se serait pas réalisé. Je suis très heureuse d'avoir été accueillie grâce à lui au sein de l'équipe du Géotop où j'ai pu réaliser mes analyses de laboratoire et où j'ai bénéficié d'un soutien technique et logistique. Merci également au Biodôme de Montréal qui a contribué grandement à ce projet sous de multiples formes. À l'intérieur de ces institutions, un grand merci à Isabelle Rhéault, Sophie Chen, Agnieszka Adamowicz et Claire Vasseur qui ont fait un super travail et avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler, souvent durant de longues heures. Je tiens à remercier tout particulièrement Annie Béliveau qui a fait un énorme travail de débroussaillage avant moi avec son projet de maîtrise et qui m'a beaucoup facilité la tâche grâce à sa précieuse collaboration en plus de m'aider grandement lors de ma campagne d'échantillonnage. De même, un énorme merci à Serge Paquet qui a été indispensable au point de vue statistique. Je remercie également le FQRNT, l'IICA Canada, l'UQAM, le Biodôme, l'OQAJ et le MELS pour leur soutien financier. Merci également pour l'identification des espèces à Chieno Suemitsu du campus de Santarém de l'Universidade Federal do Pará (UFPA) et la Dra Elisabeth Van den Berg, du Museu Emílio Goeldi (MPEG), à Belém. Merci à Jean Rémy Davée Guimarães pour sa patience et son tour de force avec l'administration brésilienne. J'apprécie également le grand dévouement de mes aides de terrain Dyennfan de Sousa et Jorge Fabrício, de ma famille adoptive brésilienne Dona Mary, Seu Barro, Seu Pereira et Fernando qui constituait l'équipage qui a rendu possible mon périple sur le Tapajós, ainsi que mes aides de laboratoire Pierre Joly et Hanane Bouzambou. Merci également aux agriculteurs qui ont participé à cette étude et aux communautés visitées, soit São Luiz do Tapajós, Nova Canãa, Santo Antonio, Mussum, Vista Alegre et Açaituba qui ont été très généreux de leur temps et de leur expérience. Je souhaite remercier également les professeurs et amis de l'Institut des Sciences de l'Environnement qui ont rendu agréable mon passage au sein de cette institution. Et finalement un merci du fond du cœur à mes parents et amis qui m'ont soutenue dans cette belle aventure.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------|
| LISTE DES TABLEAUX..... | ix |
| LISTE DES FIGURES..... | xi |
| RÉSUMÉ..... | xiii |
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 1 |
| Objectifs de recherche | 5 |
| Méthodologie..... | 7 |
| CHAPITRE 1 | 9 |
| L'IMPACT DES JACHÈRES FORESTIÈRES SUR LA FERTILITÉ ET LE CONTENU EN MERCURE DES SOLS DE LA RÉGION DU RIO TAPAJÓS EN AMAZONIE BRÉSILIENNE..... | 9 |
| RÉSUMÉ | 9 |
| 1. Introduction..... | 10 |
| 2. Matériel et méthodes..... | 13 |
| Sites d'étude..... | 13 |
| Analyses en laboratoire | 14 |
| Analyses statistiques | 15 |
| Caractérisation du sol et variation régionale | 16 |
| 3. Résultats..... | 18 |
| Historique d'utilisation des sites | 18 |
| 3.1 Analyse comparative des propriétés physico-chimiques des sols de jachères et de forêts primaires et évolution temporelle de ces propriétés | 18 |
| 3.1.1 Densité et granulométrie | 19 |
| 3.1.2 Matière organique | 19 |
| 3.1.3 pH et cations..... | 20 |
| 3.1.4 Phosphore | 22 |
| 3.2 Analyse comparative des teneurs en Hg des sols de jachères et de forêts primaires et évolution temporelle de la dynamique du Hg | 22 |
| 3.2.1 Hg total et Hg associé aux fractions granulométriques | 23 |

| | |
|---|----|
| 3.3 L'effet du nombre de brûlis antérieurs à l'établissement des jachères quant aux caractéristiques physico-chimiques et aux teneurs en Hg de leurs sols | 24 |
| 3.3.1 Dynamique globale (Analyse de correspondance = AC) | 24 |
| 3.3.2 L'effet du nombre de brûlis sur les variables de fertilité..... | 25 |
| 3.3.3 L'effet du nombre de brûlis sur les teneurs en Hg total et sur le Hg associé aux fractions granulométriques | 26 |
| 4. Discussion | 27 |
| 4.1 Évolution des propriétés physico-chimiques des sols en fonction de l'âge des jachères et persistance des impacts du déboisement ayant précédé leur implantation.... | 27 |
| 4.2 Dynamique du Hg en fonction de l'âge des jachères et persistance des impacts du déboisement ayant précédé leur implantation | 31 |
| 4.3 L'effet du nombre de brûlis effectués sur le site des jachères avant leur établissement quant aux caractéristiques physico-chimiques et aux teneurs en Hg de leurs sols actuels | 33 |
| 4.3.1 Caractéristiques physico-chimiques | 33 |
| 4.3.2 Teneurs en Hg..... | 34 |
| 5. Conclusion..... | 35 |
| CHAPITRE II..... | 50 |
| CARACTÉRISATION DES ACTIVITÉS D'EXTRACTIVISME EN JACHÈRE FORESTIÈRE NATURELLE PAR LES PETITS AGRICULTEURS DE LA RÉGION DU RIO TAPAJÓS, EN AMAZONIE BRÉSILIENNE..... | 51 |
| RÉSUMÉ..... | 51 |
| 1. Introduction | 52 |
| 2. Méthodologie | 54 |
| 2.1 Sites d'étude et échantillonnage..... | 54 |
| 2.2 Identification des espèces | 56 |
| 3. Résultats | 57 |
| 3.1 Description générale des exploitations agricoles | 57 |
| 3.2 Pratiques extractivistes..... | 58 |
| 3.2.1 Caractérisation en fonction des communautés | 58 |
| 3.2.2 Caractérisation en fonction du type de forêt..... | 58 |
| 3.2.3 Caractérisation par catégorie de produit..... | 60 |
| 3.3 Plantations en jachères..... | 60 |

| | |
|--|-----|
| 3.4 Profil sociologique des agriculteurs..... | 61 |
| 3.5 Influence des facteurs sociologiques sur l'utilisation des forêts des exploitations agricoles..... | 62 |
| 4. Discussion..... | 63 |
| 4.1 Choix des espèces récoltées et chassées | 65 |
| 4.2 Facteurs sociologiques et géographiques affectant possiblement l'utilisation des espèces récoltées et chassées | 67 |
| 4.3 Choix des espèces plantées..... | 71 |
| 5. Conclusion | 71 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE..... | 87 |
| APPENDICE A : MÉTHODOLOGIE..... | 91 |
| APPENDICE B : VARIABILITÉ ENTRE LES RÉPLICATS | 93 |
| APPENDICE C : ANALYSES DE CORRESPONDANCES | 94 |
| APPENDICE D : QUESTIONNAIRE | 96 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 105 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau 1.1 : Valeurs de densité, granulométrie, Hg et de matière organique par type de forêts et de sol, tous âges confondus46

Tableau 1.2 : Valeurs de pH, cations et phosphore par type de forêts et de sol, tous âges confondus47

Tableau 1.3 : Comparaison du nombre de brûlis sur les valeurs édaphiques des jachères tous âges confondus, pour les sols argileux et sablonneux aux horizons 0-5 et 20-25 cm confondus48

Tableau 1.4 : Position des variables édaphiques dans la CA selon les 4 axes49

CHAPITRE II

Tableau 2.1: Liste des plantes récoltées et des animaux chassés dans les forêts secondaires (FS) et primaires (FP) de la région du Rio Tapajós, Pará, Amazonie brésilienne

A) Fruits et noix76

B) Plantes médicinales77

C) Bois80

D) Animaux84

Tableau 2.2 : Liste des végétaux plantés dans les forêts secondaires de la région du Rio Tapajós, Pará, Amazonie brésilienne85

Tableau 2.3 : Caractérisation sociologique des agriculteurs et description physique des lots, jachères et forêts primaires85

APPENDICES

Tableau A.1 : Méthodes d'analyses de laboratoire91

Tableau A.2 : Seuil de détection des appareils92

Tableau B.1 : Reproductibilité moyenne entre les 3 carottes dans un même site93

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 : Carte de la région d'étude | 37 |
| Figure 1.2 : Variations de % C et % N total en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 38 |
| Figure 1.3 : Variations de NH ₄ et NO ₃ en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 39 |
| Figure 1.4 : Variations du pH en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 40 |
| Figure 1.5 : Variations du Ca et Mg en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 41 |
| Figure 1.6 : Variations du K en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 42 |
| Figure 1.7 : Variations du P _{ex} et P _{cd} en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 43 |
| Figure 1.8 : Variations du Hg _{pf} et Hg _{pg} en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur | 44 |
| Figure 1.9 : Analyse de correspondance de l'effet du nombre de brûlis sur les variables édaphiques par type de sol, horizons 0-5 et 20-25cm confondus | 45 |

CHAPITRE II

| | |
|---|----|
| Figure 2.1 : Carte de la région d'étude | 73 |
| Figure 2.2 : Nombre d'espèces végétales et animales utilisées dans les jachères en fonction de leur âge | 74 |
| Figure 2.3 : Répartition du nombre d'espèces par communauté | 75 |
| Figure 2.4 : Fréquence d'utilisation des catégories de produit par les agriculteurs (%) | 75 |
| Figure 2.5 : Répartition du nombre d'espèces par classe de produit (%) | 75 |

APPENDICES

Figure C.1 : Analyse de correspondance de l'effet du nombre de brûlis sur les variables édaphiques par type de sol, à l'horizon 0-5 et 20-25cm94

Figure C.2 : Analyse de correspondance de l'effet du nombre de brûlis sur les variables édaphiques en sol argileux et sablonneux, horizons 0-5 et 20-25cm confondus95

RÉSUMÉ

La région du Rio Tapajós, dans l'état brésilien du Pará, est parmi les endroits du bassin amazonien où l'importance du déboisement est imputable, entre autres, à l'agriculture sur brûlis, car après seulement quelques cycles de culture, les terres sont laissées à la végétation secondaire, en raison de la détérioration de la fertilité. Les travaux de recherche du projet Caruso ont également montré que le brûlis était associé à la contamination au mercure des écosystèmes aquatiques, affectant la santé des populations riveraines. Dès lors que l'agriculture traditionnelle a été associée à ce problème de santé humaine, ce projet s'est attardé sur ses pratiques agricoles, tant pour les aspects liés à la contamination au mercure qu'à la fertilité du sol. Les jachères forestières ont semblé montrer un potentiel intéressant pour la récupération des propriétés du sol. Mais on connaît peu de choses sur les dynamiques édaphiques de ces forêts secondaires, ni sur leur potentiel d'utilisation par les communautés, dans un contexte où on observe la transformation de centaines de km² de forêt primaire en végétation secondaire. Le présent projet de recherche s'insère donc dans la continuité du projet Caruso et il a pour objectif de caractériser l'impact des jachères forestières sur la reprise de la fertilité et sur la rétention du mercure, ainsi que l'usage que font les agriculteurs de leurs forêts secondaires, comparativement à celui plus traditionnel des forêts primaires. Pour ce faire, 6 communautés réparties dans un segment de 150km au long du Rio Tapajós ont été visitées pour d'une part, échantillonner 270 carottes de sol dans 25 jachères de différents âges et 5 forêts primaires et d'autre part pour questionner les agriculteurs sur les produits qu'ils extraient de leurs jachères, en utilisant ceux tirés des forêts primaires comme témoin. La fertilité de chaque site a été caractérisée au moyen des variables suivantes : densité, teneurs en cations (Ca, Mg, et K), indicateurs de la matière organique (%N, %C, NO₃ et NH₄), et phosphore (P_{ex}, P_{cd}, P_{ap} et P_{org}). Les jachères ont réellement semblé contribuer à la reprise de la fertilité en deçà de 15 ans sur sols argileux. Toutefois, les jachères sur sol sablonneux semblaient avoir un moins grand pouvoir de récupération se traduisant par des valeurs faibles surtout pour les variables reliées à la matière organique, en plus de réagir plus durement à des brûlis répétés. Sur le territoire il y avait légèrement moins de sols sablonneux. Enfin, un phénomène intéressant a pu être mis en lumière pour le mercure, soit une migration de la partie liée aux particules grossières vers les particules fines après environ 7 ans de jachère, mais sur sols sablonneux seulement. Ce processus est possiblement expliqué par l'immobilisation des cations avec le temps, qui rendent les sites de liaison sur les particules fines graduellement disponibles à nouveau. Les jachères se sont également révélées un milieu propice pour l'extractivisme d'une cinquantaine d'espèces, à l'instar des forêts primaires qui sont cependant utilisées avec une plus grande intensité. Au total, 80 espèces ont été mentionnées par les agriculteurs pour les deux types de forêts combinées. La présence de la route semble être un élément qui nuit aux activités d'extractivisme, car elle permet, entre autre, un plus grand déboisement, ce qui limite ensuite la récolte et la chasse. Les communautés isolées utilisent au contraire davantage leurs forêts, tout particulièrement les forêts primaires. Donc les jachères semblent une utilisation intéressante pour fournir des biens et services aux communautés.

Mots clés : Jachère, fertilité du sol, Amazonie, petits agriculteurs, extractivisme

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis une trentaine d'années, l'Amazonie est le théâtre d'une exploitation intensive de ses ressources naturelles. Les années 70 marquent un tournant important dans le déboisement de l'Amazonie avec l'inauguration de la route transamazonienne, qui ouvre dorénavant toute grande les portes de ce massif forestier jusque là exploité de façon durable par un nombre restreint d'habitants. Grâce à cette plus grande accessibilité, plus d'un million d'immigrants ont pu y trouver domicile et exploiter ses ressources (Browder, Pedlowski et Summers, 2004). Les colons ont principalement concentré leur attention sur l'exploitation agricole au détriment de la ressource forestière. Plusieurs acteurs sont impliqués dans la portion brésilienne du bassin amazonien qui couvre 5 millions de km² (CREDAL, 2001), dont les compagnies forestières, les grands agriculteurs de soya, les éleveurs de bétail et les petites fermes familiales. Depuis 25 ans, ces deux derniers exploitants sont responsables de la transformation de 500 000 km² de forêt primaire en terres cultivées (Zarin *et coll.*, 2005) sur un total de 648 500 km² de terre déboisé (Fearnside, 2005). La perte du couvert forestier dans cette région du monde a de nombreux impacts sur les grands cycles biogéochimiques, entre autres sur celui du carbone qui retient particulièrement l'attention planétaire ces dernières années (Houghton, 2005; Fearnside, 2000; Bernoux *et coll.*, 2001 et Hese *et coll.*, 2005), en plus de contribuer à l'effritement de la biodiversité (Fearnside, 1999).

Malgré le développement fulgurant de l'agriculture extensive en Amazonie, notamment du soya, l'agriculture sur brûlis pratiquée par les petits fermiers familiaux reste parmi les principales causes du déboisement (Ramalho, 2006). Cette technique agricole consiste à couper et à brûler les résidus ligneux sur place afin d'augmenter temporairement la fertilité du sol et le pH permettant la culture de sols autrement pauvres et acides, fréquents en zones tropicales humides. Toutefois, la fertilité des sols est souvent insuffisante pour maintenir la production à long terme. C'est pourquoi chaque année une portion importante du territoire est abandonnée à la végétation secondaire. En vingt ans, soit de 1978 à 2002, la végétation secondaire du bassin amazonien est passée de 29 000 km² à 161 000 km² (Neeff *et coll.*, 2006).

La présente étude se déroule en Amazonie brésilienne, dans la région du Rio Tapajós, qui constitue un front pionnier très actif de l'état du Pará depuis la construction de la route transamazonienne. Elle s'inscrit dans la continuité du projet Caruso qui oeuvre dans la région depuis près de 15 ans. Ce projet multidisciplinaire a grandement contribué au cours des années à développer les connaissances sur les dynamiques qui sous-tendent la petite agriculture et son impact sur la santé des riverains. L'équipe de recherche a en effet pu relier l'action de couper et de brûler la forêt à la contamination des écosystèmes aquatiques de la région par le mercure, ce qui entraîne des problèmes d'exposition à cet élément pour les communautés riveraines. La grande quantité de cations provenant de la biomasse végétale brûlée semble provoquer un déplacement cationique du mercure dans les sols, qui est ensuite entraîné vers les cours d'eau (Farella, 2005; Roulet *et coll.*, 1998). Ce transfert du mercure ne semble toutefois pas s'opérer durant la première année suivant le brûlis, quoique ce métal migre des fractions fines du sol vers les fractions grossières où il est plus labile (Béliveau, 2007). Cette hypothèse a été élaborée par Annie Béliveau une étudiante du projet Caruso qui a travaillé dans la même région d'étude. Une fois dans l'écosystème aquatique, le Hg serait transformé par la suite par les bactéries méthylatrices en une forme organique, le méthylmercure (MeHg), qui est hautement bio-assimilable par les organismes aquatique est neurotoxique (Lebel *et coll.*, 1997). Le MeHg se bioaccumulerait et se bio-magnifierait tout au long de la chaîne alimentaire aquatique et il serait absorbé par les habitants des nombreuses communautés aux abords du fleuve Tapajós (Davidson *et coll.*, 2004 ; Dorea, 2003). Le poisson étant la principale source de protéines pour la majorité des habitants de l'Amazonie, l'exposition des populations au Hg est inquiétante (Fillion *et coll.*, 2006; Lebel *et coll.*, 1997 et Passos *et coll.*, 2001). Plusieurs autres études relient également l'évacuation du Hg des sols au déboisement (Almeida *et coll.*, 2005; Fostier *et coll.*, 2000 ; Magarelli et Fostier, 2005 ; Miretzky, Jardim et Rocha, 2005 et Roulet *et coll.*, 1998).

Le problème du déboisement étant dorénavant aussi un problème de santé humaine, l'équipe du projet Caruso a tenté de proposer des pistes de solutions. Parmi les utilisations qui pourraient avoir un effet positif sur le milieu par une diminution du déboisement et par le fait

même en limitant le transfert du mercure vers les cours d'eau, le recours aux jachères¹ forestières s'est révélé une piste intéressante, d'une part parce qu'elles contribuent à la régénération du sol et d'autre part, parce que c'est une pratique agricole déjà implantée dans la région (Farella 2005). Nicolina Farella, qui a récemment complété ses études de doctorat également au sein du projet Caruso, concluait dans sa thèse que les propriétés édaphiques se régénéraient lorsqu'un sol était recouvert de jachères forestières pendant au moins 10 à 15 ans. Plusieurs recherches réalisées dans le bassin amazonien appuient également cette thèse (Denich *et coll.*, 2004; Fearnside, 2000; Metzger, 2002 et Schroth *et coll.*, 2002). Elle constate toutefois que les agriculteurs coupaient en moyenne leurs jachères après seulement 3.5 années pour les remettre en culture, ce qui est nettement insuffisant pour profiter de la reconstruction de la fertilité (Farella, 2005). Nicolina Farella soulevait dans sa thèse le manque de connaissances au niveau régional sur les mécanismes responsables de la reprise de la fertilité sous une jachère forestière, ainsi que le manque de données sur l'utilisation des jachères par les agriculteurs.

Les études effectuées dans le cadre du projet Caruso ne sont cependant pas les seules à soulever l'importance d'acquérir davantage de connaissances au sujet des jachères tant au niveau de leur utilisation que de leurs impacts sur le sol (Salas, 2001; Sydenstricker-Neto, 2005; Fearnside, 2000; Perz et Walker, 2002 et Perz et Skole, 2003). Plusieurs recherches ont également concentré leur attention sur les jachères forestières et suggèrent que la jachère a la capacité d'améliorer naturellement la condition physique du sol (Ashton et Montagnini, 2000; Olivier, Nijiti et Harmand, 2000 et Salako *et coll.*, 2001), de restaurer en partie la fertilité (Gehring *et coll.*, 2005; Hölscher *et coll.*, 1997; Schroth *et coll.*, 1999; Smith *et coll.*, 1999; Szott Palm et Buresh, 1999), de constituer un puits de carbone (Fearnside, 2000 et Mutuo *et coll.*, 2005), de contribuer au maintien de la biodiversité (Carim, Schwartz et da Silva, 2006; Diemont *et coll.*, 2006 et Fearnside, 1999 et Penã-Carlos, 2003) en plus de fournir aux propriétaires une foule de produits utiles et économiquement intéressants (Alegre *et coll.*, 2005; Browder *et coll.*, 2005; Ramadhani, Otsyina et Franzel, 2002; Schroth *et coll.*, 2002). Il est très important de bien comprendre les jachères forestières, car elles sont de plus en plus

¹ Dans la région, la jachère représente un territoire temporairement abandonné où la forêt secondaire a reprise spontanément. C'est donc un territoire forestier.

présentes dans les zones où la petite agriculture se développe (Baar *et coll.*, 2004; Carim, Schwartz et da Silva, 2006 ; Léna, 1992 et Salas, 2001) et elles ont le potentiel de constituer un frein au déboisement en stabilisant le milieu, ce qui aidera à fixer l'occupation humaine et à consolider les frontières.

Toutefois, les jachères ne semblent pas exploitées à leur plein potentiel. Neeff et collègues (2006) estiment que les forêts secondaires du bassin amazonien sont âgées en moyenne d'à peine 5 ans. Plusieurs recherches observent de même une diminution du temps de jachère avant un nouveau cycle de culture à tout au plus 3 à 5 ans (Denich *et coll.*, 2004 et Farella, 2005), alors qu'il était auparavant de 10 ans (Hao et Ward, 1993). Cette diminution de la durée des jachères est souvent expliquée par la pression humaine grandissante qui fragmente le territoire (Farella, 2005; Fearnside 2000; Place et Dewees, 1999; Sydenstricker-Neto, 2005 et Szott, Palm et Buresh, 1999). De plus, ce rajeunissement des jachères limite probablement le potentiel d'extractivisme, car la diversité des forêts secondaires augmente avec l'âge de ces dernières (Carim, Schwartz et da Silva, 2006; Penã-Carlos, 2003; Moran *et coll.*, 2000; Triola, Chareyre et Buttler, 1998). Les vieilles jachères offrent une diversité impressionnante, comme en témoigne l'étude de Carim et collègues (2006) qui ont répertorié plus de 150 espèces d'arbres dans des jachères de 40 ans situées dans l'est de l'Amazonie. La diversité des jachères et des forêts primaires est souvent rapportée par les études concernant les peuples autochtones d'Amazonie comme un incitatif à la préservation, car ils utilisent un grand nombre de produits issus de leurs forêts (Ashton et Montagnini, 2000; Diemont *et coll.*, 2006; Hanazaki *et coll.*, 2000; Schulz, Becker et Götsch, 1994; Toledo et Salick, 2006 et Wiersum, 1997). Toutefois, peu de choses sont connues sur l'extractivisme en jachère par les communautés non autochtones.

Objectifs de recherche

Chapitre 1

Ce projet vise d'abord à déterminer l'impact des jachères forestières sur la fertilité du sol et sur la rétention du mercure à l'échelle régionale, et ce, en fonction du type de sol, de l'âge des jachères et de l'historique des lots (nombre de brûlis). À la différence de l'étude de Nicolina Farella qui s'est déroulée autour du village de Brasília Legal, la présente étude s'est déroulée sur une plus vaste région représentée par les 6 communautés suivantes : São Luiz do Tapajós, Nova Canaã, Santo Antônio, Açaituba, Mussum et Vista Alegre. La variabilité édaphique de chaque site a été un élément important dans les analyses, ce qui est rarement pris en compte dans la majorité des études. De plus, il est assez innovateur d'inclure la rétention du mercure parmi les services écologiques rendus par la jachère forestière. La majorité des études ne vérifient que les concentrations de mercure dans les sols, mais font peu souvent le parallèle avec l'utilisation du territoire. Cette étude s'insère bien à la suite des travaux d'Annie Béliveau sur le transfert du mercure un an après brûlis, car elle tente de décrire la dynamique plusieurs années après les brûlis, et ce, dans la même région.

Hypothèses de départ :

- Les propriétés physico-chimiques des sols de jachères seront semblables à celles de sols similaires recouverts de forêts primaires après 10 ans.
- Les sols sablonneux seront plus sensibles et auront un plus faible pouvoir de récupération.
- La présence des jachères permettra de réduire les pertes de mercure avec le temps
- Un nombre répété de brûlis aura des conséquences plus grandes sur la fertilité et la perte de mercure qu'un nombre restreint de brûlis (< 5 brûlis depuis le déboisement, donc sur une période variable selon le site).

Chapitre 2

En plus, le projet tente de caractériser l'usage que les petits agriculteurs font de leurs forêts au niveau des espèces récoltées et chassées dans les jachères, en comparaison avec celui des forêts primaires, et de déterminer les espèces plantées en jachère. Car, la plantation et la récolte de produits de la jachère forestière peuvent être des sources de revenus supplémentaires pour les petits agriculteurs, constituant un incitatif à les conserver plus longtemps, mais rien n'indique que les agriculteurs utilisent réellement ces forêts.

Hypothèses de départ :

- Les facteurs suivants auront une influence sur l'extractivisme : la taille des lots, taille des forêts primaires, taille des forêts secondaires ainsi que la distance entre les forêts et les maisons.
- Les agriculteurs établis dans l'état du Pará depuis plusieurs générations posséderont un plus grand savoir concernant les espèces animales et végétales qu'il est possible d'extraire de la forêt.
- Les plantations en jachères seront peu communes.
- Le nombre d'espèces planté en jachère sera peu diversifié

Ce projet souhaite ainsi contribuer à renforcer les communautés riveraines par le développement de pratiques plus pérennes, faisant une place plus large aux jachères et stabilisant ainsi l'occupation du territoire.

Méthodologie

Six communautés riveraines du Rio Tapajós (São Luíz do Tapajós, Nova Canaã, Santo Antônio, Açaituba, Mussum et Vista Alegre ont été sélectionnées pour l'étude sur la base du lien de confiance qui s'est établi dans ces communautés durant près de 15 ans de recherche participative dans la région grâce au projet Caruso, ainsi que sur la précarité de ces communautés. La participation des communautés au processus de recherche assure une plus grande validité des travaux. Ce choix permet également de faciliter l'utilisation des bases de données existantes montées par l'équipe du projet Caruso.

Méthodologie du chapitre 1 : Fertilité et mercure

Cinq jachères par communauté ainsi qu'une forêt primaire témoin par communauté ont été échantillonnées, représentant un total de 25 jachères et de 5 forêts primaires pour l'ensemble de la région d'étude². Dans chacune des communautés, les 5 classes d'âge suivantes étaient représentées : 1-2, 3-4, 5-8, 10-15 et ≥ 20 ans, sauf dans la communauté de São Luíz do Tapajós où il n'y avait pas de jachère de plus de 20 ans. Un total de 270 échantillons de sol ont été échantillonnés, soit trois trous par site, à trois profondeurs (0-5cm, 20-25cm et 50-55cm). Les trois trous étaient disposés aléatoirement dans le quadrat à minimum 10 m de distance d'un autre trou. De retour à Montréal, les analyses de sol suivantes ont été réalisées dans les laboratoires de recherche du GEOTOP à l'Université du Québec à Montréal, ainsi que dans les laboratoires du Biodôme de Montréal. Un tableau résume les analyses à l'appendice A.

Les analyses sur les 270 échantillons :

- Densité du sol
- Azote minéral disponible (NH_4 et NO_3)
- Granulométrie
- Cations échangeables (Ca, Mg et K, Al, Mn, Fe)

² L'identification de la texture du sol n'a pas été réalisée sur le terrain, mais en laboratoire. Il n'était donc pas possible d'échantillonner un nombre semblable de sol argileux et sablonneux.

- pH
- N et C total
- Hg total (bulk)

Pour seulement le tiers des échantillons (un répliat par station = 90 éch.)

- P_{cdb} , P_{exc} , P_{apa} . et P_{org} ³

Et pour seulement les deux premiers horizons du tiers des échantillons (un répliat par station au deux premiers horizons = 60 éch.)

- Granulométrie
- Le Hg rattaché aux différentes fractions granulométriques (0-63 μ m, 63-210 μ m et 210 μ m -2 mm)

Méthodologie du chapitre 2 : Extractivisme et plantation

Les données ont été tirées d'un questionnaire portant sur l'utilisation présente et passée des jachères forestières et des forêts primaires, sur les caractéristiques sociologiques des agriculteurs et sur les caractéristiques physiques des lots, pour chacun des agriculteurs ayant fait partie de l'étude. Les aides de terrain brésiliens ont fait remplir le questionnaire aux mêmes 25 agriculteurs que ceux ayant participé à la réalisation de l'objectif 1. Le questionnaire est joint à l'appendice D.

Les détails de la méthodologie employée sont décrits dans les deux chapitres et dans le guide méthodologique élaboré par Rhéault et collègues, 2007.

³ P_{cdb} correspond au phosphore lié généralement aux argiles, phosphore échangeable (P_{exc}) correspond au phosphore en solution, phosphore apatite (P_{apa}) correspond au phosphore lié aux minéraux et le phosphore organique (P_{org}) correspond au phosphore lié à la matière organique. Les deux premières formes sont les plus facilement assimilables par les plantes, tandis que le P_{apa} et P_{org} sont peu disponibles. Pour plus de détails sur ces formes de phosphore consulter Lucotte et d'Anglejan (1985).

CHAPITRE 1

L'impact des jachères forestières sur la fertilité et le contenu en mercure des sols de la région du Rio Tapajós en Amazonie brésilienne

Patry, Cynthia¹, Davidson, Robert^{1, 2}, Lucotte, Marc¹, Annie Béliveau¹

¹ Université du Québec à Montréal, GEOTOP, CP 8888, Succ. Centre-Ville, Montréal, Canada, H3C 3P8, ² Biodôme de Montréal, Canada

Ce chapitre sera soumis pour publication dans Agriculture, Ecosystems & Environment

Résumé

Dans le contexte de l'agriculture sur brûlis, des recherches récentes effectuées dans le bassin amazonien ont montré qu'un sol doit être laissé en jachère pendant au moins 10 à 15 ans pour retrouver un niveau de fertilité comparable à celui d'une forêt non perturbée, permettant ainsi de nouvelles cultures. Or en général, les petits agriculteurs brûlent à nouveau ces forêts secondaires dès qu'elles atteignent 3 à 5 ans. Ces brûlis rapprochés augmentent de plus les quantités de mercure transférées vers les cours d'eau. Le présent projet de recherche propose donc de caractériser cet usage du sol dans la région du Tapajós, un front pionnier très actif de l'Amazonie brésilienne, quant à l'évolution des sols (fertilité et Hg) sous des jachères forestières de différents âges, implantées sur des substrats de nature variable et caractérisées par des séquences dissemblables d'utilisation précédant leur établissement. Pour ce faire, 25 jachères d'âge variable et 5 forêts primaires ont été échantillonnées, représentant un total de 270 échantillons de sol sur lesquels le C, N, le P, les cations et le Hg ont été mesurés. Les sites étaient situés dans 6 communautés distinctes. Globalement, il n'y avait pas de différences significatives entre la fertilité des jachères, tous âges confondus, et celle des forêts primaires. Malgré cela, les teneurs en %C, en %N ainsi qu'en NO₃ des jachères sur sols sablonneux tendaient à être inférieures à celles de forêts primaires, même après 15 ans. Pour les jachères établies sur sol plus argileux, seul les teneurs en K tendaient à être plus basses que celles des forêts primaires. Par ailleurs, les jachères sur sols sablonneux, qui sont toutefois moins présentes dans la région, semblaient également plus durement affectées lorsque le nombre de brûlis antérieur à leur établissement était de cinq et plus. Cet impact s'est manifesté par des valeurs plus faibles de NO₃ principalement, mais également de C et N total, de NH₄, de cations (Ca et Mg) et de phosphore (P_{cd}, P_{ex}, P_{ap} et P_{org}). Enfin, les pertes de Hg étaient similaires pour les jachères établies sur les deux types de sol à la suite de feux répétés. Toutefois, le Hg rattaché aux particules grossières semblait effectuer une migration inverse vers les particules fines à la surface des jachères sur sols sablonneux de plus de 7 ans. Globalement, le potentiel de restauration de la fertilité des sols des jachères semble plus prometteur sur sites argileux dans une optique agricole, en autant que des mesures anti-érosion soient mises en place durant les périodes de culture pour réduire les pertes de Hg de ces sols, naturellement plus riches. À l'inverse, les sites sablonneux, plus fragiles paraissent plus appropriés pour un couvert forestier permanent. Une meilleure connaissance des jachères et de leur utilisation, contribuera à la création d'une agriculture plus durable, moins dépendante du défrichement de nouvelles forêts primaires, aidant à réduire le cycle d'appauvrissement des sols.

Mots-clés: Fertilité du sol, Amazonie, jachère forestière, petite agriculture, mercure et brûlis.

1. Introduction

L'exploitation du bassin amazonien brésilien, d'une superficie de 5 millions de km² (Fearnside, 1997), n'est pas un phénomène récent. Les habitants présents sur ce territoire le modifient depuis plus de 7 000 à 8 000 ans (Roosevelt *et coll.*, 1991). Toutefois, cette partie du monde est le théâtre d'un déboisement sans précédent depuis une trentaine d'années, et plus de 50 000 km² de forêt primaire ont déjà été convertis en pâtures, champs, forêts secondaires et autres (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004) par plus d'un million de colons (Browder, Pedlowski et Summers, 2004). La pression démographique grandissante et le désir de souveraineté du gouvernement brésilien sur l'Amazonie sont principalement à l'origine de ce changement de situation (Browder, Pedlowski et Summers, 2004 et Sydenstricker-Neto, 2005). Cette constante conversion participe à la modification des grands cycles biogéochimiques, notamment le cycle du carbone qui a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années (Bernoux *et coll.*, 2001; Fearnside, 2000; Hese *et coll.*, 2005; Houghton, 2005 et Tinker, Ingram et Struwe, 1996) et celui de l'eau (Cochrane *et coll.*, 1999 et Laurance, 2000), en plus de contribuer à l'effritement de la biodiversité (Fearnside, 1999). De plus, suite au déboisement le mercure contenue naturellement dans les sols est partiellement transféré vers les cours d'eau, où il peut pénétrer la chaîne alimentaire après avoir été méthylé (Almeida *et coll.*, 2005 ; Davidson *et coll.*, 2004 ; Dorea, 2003 ; Farella, 2005; Fostier *et coll.*, 2000; Magarelli et Fostier, 2005 ; Miretzky, Jardim et Rocha, 2005 et Roulet *et coll.*, 1998). Ce phénomène contribue à l'exposition au mercure des riverains par leur grande consommation de poissons, car ce métal se bio-accumule et se bio-magnifie tout au long de la chaîne alimentaire (Fillion *et coll.*, 2006; Lebel *et coll.*, 1997 et Passos *et coll.*, 2001). Malgré la croissance fulgurante de l'agriculture à grande échelle, en particulier le soya, l'agriculture familiale sur brûlis reste tout de même une des principales causes du déboisement en Amazonie (Ramalho, 2006). Ce type d'agriculture, très répandu en régions tropicales humides caractérisées par des sols pauvres et acides, consiste à abattre la forêt et à brûler les résidus à chaque nouveau cycle de culture, afin de permettre une fertilisation temporaire du sol par les cendres de la biomasse forestière, ce qui relève également le pH. Un cycle correspond à quelques années de cultures et/ou de pâturages, suivi par une période de jachère.

Les jachères forestières occupent d'ailleurs à chaque année une part plus importante du territoire amazonien au détriment des forêts primaires (Léna, 1992 et Salas, 2001). Une utilisation plus judicieuse des jachères a été présentée par plusieurs chercheurs comme une alternative viable au déboisement accru de la forêt primaire par l'agriculture sur brûlis. D'une part parce qu'elle a la capacité d'améliorer naturellement la condition physique du sol (Ashton et Montagnini, 2000; Olivier, Nijiti et Harmand, 2000 et Salako *et coll.*, 2001), de restaurer une partie de la fertilité (Farella *et coll.*, 2007; Gehring *et coll.*, 2005; Hölscher *et coll.*, 1997; Schroth *et coll.*, 1999; Smith *et coll.*, 1999 et Szott, Palm et Buresh, 1999), de constituer un puits de carbone (Fearnside, 2000 et Mutuo *et coll.*, 2005), en plus de fournir aux propriétaires une foule de produits utiles et économiquement intéressants (Alegre *et coll.*, 2005; Browder *et coll.*, 2005; Ramadhani, Otsyina et Franzel, 2002; Schroth *et coll.*, 2002). Mais l'âge moyen des jachères amazoniennes au moment du brûlis est passé de 10 ans (Hao et Ward, 1993) à tout au plus de 3 à 5 ans avant qu'un nouveau cycle de culture ne soit entamé (Denich *et coll.*, 2004 et Farella, 2005). Effectivement, plusieurs recherches récentes observent une baisse marquée de la longévité des jachères, principalement causée par la pression grandissante due à l'accroissement de la population (Farella, 2005; Fearnside 2000; Denich, 1991; Place et Dewees, 1999; Sydenstricker-Neto, 2005 et Szott, Palm et Buresh, 1999). Or certains chercheurs suggèrent que la durée minimale des sols laissés en jachère naturelle ne doit pas être en deçà de 10 à 15 ans, afin que les niveaux de C, de N, de P et des cations puissent retourner à des valeurs avoisinant celles des forêts primaires (Denich *et coll.*, 2004; Farella *et coll.*, 2007; Fearnside, 2000; Metzger, 2002 et Schroth *et coll.*, 2002). Dans certains cas, la diminution de la longévité des jachères est compensée par l'amélioration de ces dernières (sélection des espèces, ajout d'arbres et de légumineuses, amendements organiques, etc.) (Alegre *et coll.*, 2005; Barrios *et coll.*, 2005; Boddey *et coll.*, 1997 et Schulz, Becker et Götsch, 1994) Par contre, si aucune valorisation n'est réalisée, comme c'est généralement le cas de la petite agriculture, la réduction de la longévité des jachères peut avoir des conséquences dramatiques sur la fertilité à long terme des sols (Place et Dewees, 1999).

Il apparaît donc important de comprendre les dynamiques physico-chimiques des sols sous jachères forestières de différents âges, si on veut être en mesure de proposer une gestion optimisant leur usage au sein de la petite agriculture amazonienne et aider à réduire la pression sur les forêts primaires. En effet, plusieurs incertitudes persistent sur la rapidité des dynamiques affectant la reprise de la fertilité, en tenant compte par exemple des différences texturales. De plus, on ne sait rien de la dynamique du mercure dans les sols sous jachère. Enfin, la prise en compte de l'historique des lots précédant leur établissement est généralement peu intégrée dans les travaux de recherche sur les jachères.

La présente étude, qui s'est déroulée dans la région du Rio Tapajós, un front pionnier actif de l'état amazonien du Pará, Brésil, a donc tenté de déterminer si l'âge des jachères et le nombre de brûlis précédant leur établissement ont un impact sur les propriétés physico-chimiques et la dynamique du mercure des sols. Les travaux de recherche de Farella (2005) comportaient une caractérisation préliminaire de l'impact des jachères sur la fertilité des sols, mais son étude se limitait à la communauté de Brasília Legal et comptait un nombre peu élevé de sites, rendant difficile la généralisation de ses résultats. Dans la présente étude, les sols de 25 jachères forestières de différents âge et répartis dans une région plus vaste au long du Rio Tapajós ont été comparés aux sols de forêts primaires et entre elles sur la base de leurs propriétés physiques, de leur granulométrie (type de sol), et de leurs teneurs en matière organique, en cations (calcium (Ca), magnésium (Mg) et potassium (K), en différentes formes de phosphore et en mercure (Hg). De plus, l'effet du nombre de brûlis effectués avant l'établissement de ces jachères a été testé sur ces mêmes variables édaphiques. Cette étude est innovatrice car elle vise à caractériser les jachères en intégrant à la fois la variabilité naturelle à une échelle régionale, notamment la texture du sol (argileux et sablonneux), l'historique agricole des lots et la dynamique du Hg.

2. Matériel et méthodes

Sites d'étude

L'étude a été réalisée dans six communautés des abords du Rio Tapajós, dans l'état du Pará, en Amazonie brésilienne, soit Santo Antonio, Nova Canãa, São Luíz do Tapajós, Açaituba, Mussum et Vista Alegre. Les deux dernières communautés ont été considérées comme une seule entité, étant donné leur proximité. Ces communautés du bassin amazonien, réparties entre les municipalités de Aveiro et de Itaituba, sont situées dans un segment de 150km (03°40' à 04°28' S : 55°21' à 56°16' O) bordé au sud par le bouclier centre-brésilien et à l'est par la route transamazonienne (figure 1.1). La présence de cette route a joué un grand rôle dans la déforestation de la région (Chomitz et Thomas, 2000). Au point de vue géologique, les sols du plateau ont été formés à partir des sédiments quartzo-kaolinitique du Crétacé provenant de la formation Alter do Chão (Roulet *et coll.*, 1998). Les sols principalement retrouvés sont les Oxisols (> 40% particules fines) et les Ultisols (< 40% particules fines) (Soil Survey Staff, 1999) selon la classification américaine (USDA), qui correspondent respectivement aux Latossolos (Buol et Eswaran, 2000) et aux Argilossolos de la classification brésilienne (Embrapa Amazônia Oriental, 2007). Ces types de sols sont caractérisés par une fertilité précaire qui s'illustre par de faibles teneurs en Ca, Mg, K et P. Les Ultisols sont globalement plus argileux. Dans la région d'étude, la forêt tropicale humide est caractérisée par des périodes de sécheresse de 3 à 4 mois (Cochrane et Sanchez, 1982). L'agriculture sur brûlis consiste généralement à produire du riz (*Oryza sativa* L.), du manioc (*Manihot esculenta* Crantz), des fèves (*Phaseolus vulgaris* L.) et des bananes (*Musa* spp.) (Farella *et coll.*, 2007).

En septembre 2006, cinq agriculteurs ont été approchés dans chacune des communautés sélectionnées, sur la base de leur désir de participer à cette recherche. L'âge des jachères était également un critère de sélection important, afin de pouvoir échantillonner un éventail d'âges allant de 1 à 30 ans dans chacune des communautés. Une forêt primaire témoin par communauté a aussi été échantillonnée. Pour chacun des 30 sites sélectionnés (25 jachères de différents âges et 5 forêts primaires), trois trous ont été creusés à environ 20m de distance les

uns des autres. L'échantillonnage de sol a été réalisé à l'aide d'un carottier à percussion après avoir au préalable enlevé la litière. Pour chacun des horizons: 0-05cm, 20-25cm et 50-55cm, deux échantillons de 100 cm³ de terre ont été prélevés, l'un étant conservé congelé pour les analyses de NH₄ et de NO₃ et l'autre étant séché à l'air ambiant pour les autres analyses. De plus, le DHP (diamètre à hauteur de poitrine) de chacun des arbres excédant 5cm (Toledo et Salick, 2006) a été compilé dans un quadrat de 100m² autour de chacun des trous. Une distance d'environ 10m séparait chacun des trois quadrats. Les valeurs de DHP ont servi à valider l'âge des jachères. Lorsque l'âge avancé par l'agriculteur ne correspondait pas aux moyennes de DHP et à la hauteur retrouvées dans l'étude de Metzger (2002), qui a travaillé dans la région de Belém sur des jachères de différents âges, le site était automatiquement rejeté. Seul un site a été rejeté en suivant ces critères. Par la suite, les DHP ont servi à mesurer la surface terrière qui correspond à la somme de l'aire de chaque tronc par quadrat, suivant la formule qui suit : surface terrière = $\sum \pi(\text{DHP}/2)^2$.

Analyses en laboratoire

Dans les laboratoires du GEOTOP et du Biodôme de Montréal, les échantillons de sols non congelés (100 cm³) ont été séchés à l'étuve à 40° C, jusqu'à l'obtention d'un poids pesé stable, pour en déterminer la densité sèche. Par la suite, environ 50g ont été prélevés de chaque échantillon séché pour être tamisés avec un sas de 2mm, puis lyophilisés et broyés au percuteur, afin d'obtenir une fine poudre libre de toute eau interstitielle. Par la suite, le pH a été mesuré. Les concentrations en cations Ca, Mg et K ont été déterminées par absorption atomique après une extraction au BaCl₂ (Hendershot, Lalande et Duquette, 1993). Le C total et N total ont été analysés sur un analyseur Carlo-Erba® modèle NA-1500 (Verardo, Froelich et McIntyre, 1990). Sur ces mêmes sols broyés, 4 formes de phosphore, soit le phosphore échangeable (Pexe), les orthophosphates extraits avec une solution de citrate-dithionite-bicarbonate (Pcdb), le phosphore apatite (Papa) et le phosphore organique (Porg) ont été déterminées suivant une extraction séquentielle élaborée par Lucotte et Anglejan (1985) et mesurées à l'aide d'un auto-analyseur Traacs 800 de Bran et Luebbe. Il est à noter que les analyses de phosphore ont été réalisées sur le tiers des échantillons seulement, soit une carotte par site. Les concentrations de NO₃ ainsi que de NH₄ ont été mesurées par

colorimétrie à la suite d'une extraction au KCl 2M sur les sols frais à partir des échantillons congelés, suivant le protocole de Maynard et Karla (1993).

La granulométrie a été réalisée également sur les échantillons d'une carotte sur trois seulement, ceux-ci étant non broyés et non lyophilisés, et sur les deux horizons supérieurs uniquement (0-5cm et 20-25cm) (60 échantillons au total). La détermination de la granulométrie consistait à séparer le sol en trois fractions granulométriques, soit 0-63µm (particules fines), 63-210µm (particules moyennes) et 210µm-2mm (particules grossières) à l'aide de tamis et d'une centrifugeuse à flot continu. Après séchage, le poids relatif de chacune des trois fractions a été calculé puis transformé en pourcentage. Le mercure rattaché à chacune des fractions granulométriques ainsi que le mercure total ont été extraits avec du HCl et analysés par fluorescence atomique (Pichet *et coll.*, 1999). Pour le mercure la méthode est reproductible à $\pm 9\text{ng/g}$. Chacune des méthodes est décrite en détails dans le guide méthodologique de Rhéault et collègues 2007.

Analyses statistiques

Des tests non paramétriques de Noether ont été utilisés pour comparer les sols de jachères aux sols de forêts primaires, tant en texture argileuse que sablonneuse, car la normalité et l'égalité des variances n'étaient pas respectées. Des corrélations non paramétriques de Spearman's Rho ont été réalisées afin d'établir des relations entre l'âge des jachères et les différentes variables. La totalité des 30 sites a été utilisée pour ces deux tests. Toutefois, certaines valeurs extrêmes ont été retirées des analyses afin de ne pas biaiser les résultats, au moyen d'une comparaison avec les valeurs moyennes des études de Béliveau (2007) et de Farella (2005) qui se sont déroulées dans la même région. C'est le cas d'un des sites de jachères sur sols argileux de 7 ans et de certaines valeurs de forêts primaires. Tous les tests réalisés dans cette étude utilisent le seuil de signification de 0,05 qui est le plus commun en sciences naturelles. Puisque les corrélations étaient nombreuses et afin de respecter le seuil de probabilité de 5%, il a fallu appliquer la correction de Bonferroni. Le nouveau seuil trouvé était de $0.05/13 \text{ variables} = 0.004$.

La détermination de l'effet du nombre de brûlis sur la fertilité et le Hg des sols de jachères a été illustré par l'analyse de correspondance (AC), les postulats d'applications pour l'analyse en composante principale n'étant pas remplis (multi-normalité et égalité des variances). La AC a tenu compte des 17 variables étudiées. L'analyse de plusieurs AC a montré qu'il était possible de jumeler les horizons 0-05 et 20-25cm, car la dynamique des variables à ces deux profondeurs était semblable. Le Hg rattaché aux fractions, la granulométrie et le phosphore ont été mesurés que sur 90 échantillons correspondant aux deux premiers horizons (0-05 et 20-25cm) d'une carotte sur trois, c'est pourquoi cette analyse n'a pas été réalisée sur les 270 échantillons. Trois classes de brûlis ont été créées pour la AC (1 brûlis, 2-4 brûlis et ≥ 5 brûlis), puis les différences entre la première et la dernière classe de brûlis ont été testées avec des tests non paramétriques de Wilcoxon quant aux variables de fertilité et de Hg. La fréquence des brûlis n'est pas obligatoirement la même dans une même classe, car elle dépendant du nombre d'années depuis le déboisement de la forêt primaire et cela varie d'un site à l'autre, mais se situe autour de 17 ans. Les logiciels de JMP 5.1 (SAS Institut, 2003) a été employés pour les corrélations de Spearman's Rho et les tests de Wilcoxon, CANOCO 4.54 (Plant Research International, 2005) pour la AC, Kaleidograph 3.5 (Synergie Software, 2000) et Sigma Plot (SYSTAT Software Inc, 2002) pour réaliser les graphiques.

Caractérisation du sol et variation régionale

Se basant sur les classifications des sols élaborées par Béliveau (2007) et Farella (2005), des analyses discriminantes ont été effectuées, suggérant qu'une classification semblable à celle utilisée par Béliveau (2007) corresponde mieux à la dynamique des sols de cette étude. Il est à noter que Béliveau (2007) a travaillé dans les mêmes communautés que la présente étude alors que les travaux de Farella se sont limités à une région circonscrite autour de la communauté de Brasilia Legal. Béliveau (2007) a défini deux groupes de sols basés sur le pourcentage de particules fines de l'horizon 20-25cm, cette variable étant déterminante dans les dynamiques géochimiques et pédologiques (Brady et Weil, 2002). Un sol contenant 35% et plus de particules fines (tamis 0-63 μ m) correspondait à un sol qualifié dans le présent article d'argileux et un sol contenant moins de 35% était qualifié de sablonneux. L'analyse discriminante de Roy's Max Roots ($p = 0.0001$) a indiqué qu'il y avait bel et bien une

différence statistique entre les deux groupes créés, et ce pour l'ensemble des variables, avec seulement 19% des points qui apparaissaient mal classifiés. Toutefois, les postulats d'applications de ce test n'ont été que partiellement remplis, même à la suite d'une standardisation, car la normalité n'était pas respectée pour l'ensemble des variables (test de Shapiro-Wilk), contrairement à l'égalité des variances qui l'était (test de Bartlett).

La variabilité régionale a été bien expliquée par la classification pédologique créée. En effet, un type de sol dominait dans chacune des communautés. La communauté de Santo Antonio était établie principalement sur un sol argileux, à l'instar de Nova Canãa et de Açaituba. À l'opposé, Mussum et Vista Alegre étaient établies sur un sol principalement sablonneux. Dans la communauté de São Luiz do Tapajós par contre, autant de sites argileux que sablonneux ont été retrouvés.

Pour chacune des analyses, les données ont été présentées par profondeur (0-05, 20-25 et 50-55cm) et par type de sol (argileux et sablonneux). En effet, des tests de Noether ont montré une différence significative entre les valeurs des jachères sur sols argileux et celles sur sols sablonneux pour tous les horizons, pour les variables suivantes: N total, Mg, Hg associé aux fractions granulométriques, P_{cd}, P_{ap} et P_{org} et une différence significative pour au moins un horizon pour toutes les autres variables, sauf pour la densité où aucune différence n'a été observée entre les deux types de sol.

3. Résultats

Historique d'utilisation des sites

Dans cette étude, les historiques d'utilisation des jachères antérieurs à leur établissement étaient le plus souvent simples. De façon générale, les sites n'ont subi qu'un cycle de culture, ce qui correspond à un brûlis, une année de culture et une période de jachère dont la durée variait de 1 an à plus de 30 ans. Seulement 4 sites ont subi 5 brûlis et plus, un de ces sites ayant été brûlé 17 fois. De plus, un seul site a été utilisé pour le pâturage (10 ans).

Variabilité édaphique

Globalement, les résultats suivants reflètent une grande hétérogénéité édaphique. Cette caractéristique a fait en sorte que plusieurs différences notables observées entre les jachères forestières et les forêts primaires n'étaient pas nécessairement significatives. Puisque ces différences marquées peuvent tout de même suggérer des tendances illustrant des processus biologiques en lien avec la croissance des jachères, elles ont été présentées dans les résultats et éventuellement discutées quand la grande variabilité pouvait avoir masqué l'expression significative de telles tendances.

3.1 Analyse comparative des propriétés physico-chimiques des sols de jachères et de forêts primaires et évolution temporelle de ces propriétés

Les valeurs moyennes de densité, granulométrie, pH et de fertilité des jachères, tous âges confondus, ont d'abord été comparées aux valeurs des forêts primaires avec le test de Noether (tableaux 1.1 et 1.2). Puis, l'évolution de ces variables a été caractérisée en fonction de l'âge des jachères, en s'appuyant sur des corrélations de Spearman et sur les figures 1.2 à 1.8. Il est à noter que certains sites sont susceptibles d'engendrer des irrégularités dans les courbes, tout simplement en raison de leur fertilité naturelle. Cette section ne rapportera donc que les

tendances marquées. Enfin, l'âge des jachères de cette étude était très bien corrélé à la surface terrière tant en sol argileux ($r = 0.73$, $p = 0.0001$) que sablonneux ($r = 0.58$, $p = 0.0001$).

3.1.1 Densité et granulométrie

Les analyses granulométriques ont permis de classer les sites, 16 jachères et 3 forêts primaires étaient établies sur un sol plutôt argileux, tandis que 9 jachères et deux forêts primaires étaient sur sol sablonneux. Les jachères établies sur sols argileux ont montré une tendance à la perte des particules fines pour les horizons 0-05cm (59% à 44%) et 20-25cm (67% à 54%) par rapport aux forêts primaires, ce qui a engendré une augmentation significative de la densité pour ces horizons (1.13 à 1.30 g/cm³ et 1.30 à 1.43 g/cm³ à 0-05 et 20-25cm respectivement) (tableau 1.1). Dans les jachères établies sur sols sablonneux, il n'y a pas eu de perte marquée des particules fines par rapport aux forêts primaires et par conséquent pas de changements significatifs quant à la densité. Par ailleurs, la densité des sols de jachère n'a pas diminué significativement avec l'âge dans les deux types de sols (résultats non montrés).

3.1.2 Matière organique

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans les pourcentages de C et N total entre les jachères et les forêts primaires. En sol sablonneux, le %C et le %N sont tout de même en deçà des niveaux des forêts primaires à l'horizon de surface (%C : 2.60 à 1.82 et %N : 0.19 à 0.13) et à 20-25cm (%C : 1.12 à 0.87 et %N : 0.08 à 0.06). L'ensemble des valeurs de C total pour les jachères établies sur sol argileux à 20-25cm sont également sous la moyenne des forêts primaires. En surface, les variations de carbone total et d'azote total ont suivi des tendances similaires en fonction de l'âge des jachères, mais ne sont pas corrélées à l'âge, tout comme aux autres profondeurs (figure 1.2).

La minéralisation de l'azote dans les sols recouverts de jachères a montré une tendance à se produire de manière incomplète par rapport aux forêts primaires, surtout au niveau de la nitrification qui a subi une baisse tant dans les sols argileux que sablonneux et ce pour presque tous les horizons, tel que montré par les teneurs en NO_3 . Ce fait a pu être illustré par un rapport NH_4/NO_3 supérieur dans les sols de jachères, même si cette différence n'était significative que pour les deux horizons de profondeurs des sols sablonneux où ce rapport triplait (0.35 à 1.67 à 20-25cm et 0.29 à 0.91 à 50-55cm). Fait intéressant, la présence de NH_4 dans les horizons profonds des jachères établies sur sols sablonneux a pratiquement doublé (0.18 à 0.35 et 0.06 à 0.10 $\mu\text{mol/g}$ à 20-25 et 50-55cm respectivement), ces différences étant significatives (tableau 1.1). Dans le cas des jachères sur sols argileux, même si dans l'ensemble la présence de NH_4 n'a pas différé de manière significative par rapport aux valeurs mesurées en forêts primaires, la production de NH_4 était positivement corrélée avec l'âge des jachères pour tous les horizons (0-05cm : $r = 0.47$, $p = 0,0007$; 20-25cm : $r = 0.44$, $p = 0,0019$ et 50-55cm : $r = 0.49$, $p = 0,0004$, figure 1.3), montrant une tendance à un retour aux valeurs des forêts primaires avec le temps pour ces sols. Globalement, les teneurs en nitrates des sols de jachère ne se sont pas avérées différentes significativement des sols de forêts primaires, bien que dans le cas des jachères sur sols sablonneux, on a observé des teneurs en nitrate environ deux fois plus faibles (1.14 à 0.60; 0.57 à 0.30 et 0.20 à 0.13 $\mu\text{mol/g}$ à 0-05, 20-25 et 50-55cm respectivement). Dans le cas des sols argileux de surface, les nitrates étaient toutefois positivement corrélés avec l'âge des jachères ($r = 0.40$, $p = 0,0044$, figure 1.3), illustrant encore une fois une tendance de retour à la normale avec le temps pour cette classe texturale.

3.1.3 pH et cations

Globalement, le pH des jachères était très semblable à celui des forêts primaires (tableau 1.2). Il y a toutefois eu une légère augmentation significative en surface des sols sablonneux (4.4 à 5.1) et une légère baisse, également significative, en profondeur pour les sols argileux (4.9 à 4.8). Les jeunes jachères avaient des valeurs de pH les plus élevées, bien supérieures aux valeurs des forêts primaires (figure 1.4). Cependant, cette différence s'estompait avec

l'âge des jachères, principalement à la surface des sols sablonneux. En effet, il y a eu une corrélation négative significative entre l'âge des jachères et le pH ($r = -0.61$, $p = 0,0009$).

Dans l'ensemble, les résultats ont montré un enrichissement en cations dans les sols des jachères, principalement quant au calcium les premières années de jachère (tableau 1.2 et figure 1.5). Ce sont dans les jeunes jachères que les concentrations en cations ont été les plus élevées, sauf dans le cas des jachères argileuses d'un an où ces teneurs étaient égales (Ca et Mg) ou inférieures (K) à celles des forêts primaires. Dans le cas du calcium, c'est en surface que les variations se sont montrées les plus fortes (dans les sols argileux de 0.21 à 1.03 cmol/kg et dans les sols sablonneux de 0.05 à 0.42 cmol/kg), même si seules les différences à 20-25cm dans les sols sablonneux (0.02 à 0.07 cmol/kg) et à 50-55cm dans les sols argileux (0.02 à 0.05 cmol/kg) étaient statistiquement différentes. Il y a eu une baisse graduelle des concentrations de calcium avec l'âge des jachères, jusqu'à des niveaux voisins des forêts primaires lorsque les jachères atteignaient environ 7 ans. Ce phénomène était davantage observé dans les sols sablonneux où l'âge était inversement corrélé à la concentration en calcium, et ce, pour les deux premiers horizons (0-05cm : $r = -0.66$, $p = 0,0003$; 20-25cm : $r = -0.68$, $p = 0,0002$, figure 1.5). L'enrichissement marqué en magnésium les premières années de jachère a surtout été observé sur sols argileux. Elles diminuaient par la suite avec l'âge des jachères ce qui globalement conduisait à des valeurs élevées, mais non statistiquement différentes de celles des forêts primaires (0.22 à 0.58; 0.07 à 0.13 et 0.02 à 0.10 cmol/kg, respectivement à 0-05, 20-25 et 50-55cm). Cette apparente diminution des concentrations de magnésium avec l'âge des jachères dès les premières années, ne se traduisait toutefois pas par des corrélations significatives (figure 1.5). A l'instar du magnésium, il n'était pas possible de conclure à des différences dans les teneurs en potassium entre les jachères et les forêts témoins, malgré des concentrations relativement faibles en sol argileux (0.22 à 0.13; 0.12 à 0.07 et 0.13 à 0.06 cmol/kg à 0-05, 20-25 et 50-55cm respectivement, tableau 1.2). Enfin, il n'y avait pas de corrélation significative entre les concentrations de K et l'âge des jachères pour les des deux types de sol (figure 1.6).

3.1.4 Phosphore

Globalement, des quatre formes de phosphore analysées, aucune ne présente des concentrations significativement différentes des forêts primaires. Seul le Pcdb, a quelque peu différencié entre les jachères et les forêts primaires (tableau 1.2). En effet, il s'y est retrouvé en quantité beaucoup plus faible que dans les forêts primaires, tant dans les jachères sur sols argileux que sablonneux, alors que les formes Pexe⁴, Porg et Papa ont montré des valeurs à peine différentes des forêts témoins. Les valeurs de Pcdb ont diminué pratiquement de moitié dans les jachères sur sols argileux (1.78 à 1.36, 1.59 à 0.95 et 1.81 à 0.91 $\mu\text{mol/g}$ respectivement à 0-05, 20-25 et 50-55cm) et en profondeur des sols sablonneux (0.53 à 0.15 $\mu\text{mol/g}$). De plus, les résultats n'ont pas montré de récupération évidente du Pcdb avec l'âge des jachères, car il n'y avait pas de corrélation entre ces deux variables, ni d'ailleurs avec aucune autre forme de phosphore. Seul le Pexe à la surface des sols de jachères des deux textures a semblé montrer un retour à des valeurs semblables à celles des forêts primaires, après une chute des valeurs ayant fait suite à un bref enrichissement (figure 1.7). Le Pcdb avec le Pexe sont les deux formes les plus facilement assimilables par les plantes.

3.2 Analyse comparative des teneurs en Hg des sols de jachères et de forêts primaires et évolution temporelle de la dynamique du Hg

Les résultats du test de Noether ont révélé qu'il y avait significativement plus de mercure total dans les sols de la communauté de Santo Antonio (129 ng/g toutes profondeurs et types de sol confondus) que dans les autres communautés (Nova Canãa = 85; Açaituba = 93; São Luíz do Tapajós = 95 et Mussum/Vista Alegre = 95 ng/g).

⁴ Les valeurs de Pexe et Pcdb d'une des 3 forêts primaires argileuses à 50-55cm ont été retirées des analyses, car elles étaient anormalement élevées comparées aux valeurs de Béliveau (2007) et de Farella (2005).

3.2.1 Hg total et Hg associé aux fractions granulométriques

Les résultats n'ont pas montré de pertes significatives de Hg total, ni de Hg lié aux fractions fines et grossières entre les jachères et les forêts primaires, et ce, à toutes les profondeurs. Toutefois des différences importantes bien que non significatives pouvaient être identifiées. Tout d'abord, il existait une bonne différence dans les niveaux de Hg total à la surface des sols de jachères tant sur substrat argileux que sablonneux (dans les sols argileux de 113 à 89 et dans les sols sablonneux de 87 à 61 ng/g) (tableau 1.1). Ce qui correspond à des pertes semblables entre les sols argileux, soit de 24 ng/g et sablonneux de 27 ng/g. Il y a eu de plus une perte de Hg total pour les deux horizons de profondeur des jachères sur sols sablonneux (125 à 97 et 129 à 105 ng/g respectivement à 20-25 et 50-55cm). Bien que ces différences n'étaient pas significatives, il est intéressant de constater qu'il y avait pratiquement deux fois plus de Hg sur les particules fines dans le cas des forêts primaires sur sols sablonneux (0-05cm : ARG = 148 et SAB = 268, et à 20-25cm : ARG = 130 et SAB = 254 ng/g) et de six à sept fois plus de Hg sur les particules grossières des forêts primaires sur sol argileux (0-05cm : ARG = 112 et SAB = 17 et à 20-25cm : ARG = 88 et SAB = 14 ng/g) (tableau 1.1). Malgré des résultats non significatifs, dans le cas des jachères sur sols argileux, le Hg associé aux particules fines était semblable aux niveaux des forêts témoins, tandis que le Hg associé aux particules grossières a diminué de plus de la moitié (112 à 41 et 88 à 43 ng/g respectivement à 0-05 et 20-25cm). Pour leur part, les jachères sur sols sablonneux montraient une perte de Hg associée aux particules fines en surface (268 à 213 ng/g), en plus d'un enrichissement de près du double du Hg associé aux particules grossières à 20-25cm (14 à 25 ng/g). Plusieurs corrélations très intéressantes ont pu être mises en évidence entre le Hg associé aux fractions granulométriques, l'âge des jachères et le calcium à la surface des jachères sur sols sablonneux. Avant tout, une forte corrélation positive quoique non significative à un seuil de 5% entre le Hg associé aux particules fines et l'âge des jachères ($r = 0.65$, $p = 0.0567$)⁵ a pu être observée (figure 1.8). Cette relation ne s'est toutefois pas manifestée dans le cas des jachères sur sols argileux et en profondeur dans les deux types de sol. De plus, on a noté une corrélation inverse entre les concentrations de calcium et le Hg

⁵ Ici, il n'y a pas de correction de Bonferroni sur le seuil de signification de la corrélation, car l'analyse est indépendante.

associé aux particules fines pour les jachères sur sol sablonneux en surface ($r = -0.82$, $p = 0.0072$). De leur côté, les concentrations de Hg associé aux particules grossières ont semblé diminuer avec l'âge des jachères, même s'il n'y a pas eu de corrélations significatives.

3.3 L'effet du nombre de brûlis antérieurs à l'établissement des jachères quant aux caractéristiques physico-chimiques et aux teneurs en Hg de leurs sols

À l'intérieur de cette section, l'impact du nombre de brûlis effectués par les agriculteurs sur les sites où ont été établies par la suite les jachères échantillonnées de cette étude est analysé, tous âges de jachère confondus et après avoir regroupé les valeurs des deux premiers horizons (0-05 et 20-25cm). Les résultats présentés dans cette section et la suivante sont contenus dans le tableau 1.3 et 1.4 et illustrés par l'analyse de correspondance à la figure 1.9.

3.3.1 Dynamique globale (Analyse de correspondance = AC)

La AC a expliqué 61% de la variation sur le premier axe, où apparaissait un gradient selon le nombre de brûlis, et 16% supplémentaire sur le deuxième axe, où on observait une ségrégation reliée à la texture du sol représentée par les variables % particules fines et grossières, avec une inertie totale de 0.221 (figure 1.9). Pour un sol de même texture, les effets d'un brûlis et ceux de 2 à 4 brûlis étaient semblables, d'où la quasi-superposition des centroïdes⁶ dans chaque cas. En sol sablonneux, ces deux centroïdes étaient éloignés de la majorité des variables reliées à la fertilité, dénotant un appauvrissement, alors que seul le Hg rattaché aux particules fines était très rapproché. Cette pauvreté est devenue soudainement extrême après 5 brûlis et plus, ce centroïde étant en effet le plus éloigné des variables de fertilité, avec seule la variable Hg rattaché aux particules grossières qui en était très

⁶ Un centroïde est la moyenne de toutes la valeurs pour chacune des catégories : 1 brûlis argileux, un brûlis sablonneux, 2-4 brûlis argileux, 2-4 brûlis sablonneux, ≥ 5 brûlis argileux et ≥ 5 brûlis sablonneux.

rapprochée. Sur sols argileux, les contrastes étaient moins prononcés que sur sols sablonneux. Ainsi le centroïde 5 brûlis et plus était beaucoup moins éloigné des deux autres, au point où leurs intervalles de confiance se chevauchaient. Malgré cela, il semble qu'un nombre de 5 brûlis et plus était associé à de plus hautes valeurs de cations, alors que les valeurs de NO_3 étaient plus faibles. Dans le plan (axe 1 et 2) présenté ici, les formes Porg, Pcdb et Papa sont près de ce dernier centroïde, mais sur l'axe 3 elles en sont éloignées (tableau 1.4). Les variables de C et de N total, le NH_4 , le Hg total, de même que la densité, pour leur part ne semblent pas influencées par le nombre de brûlis, car elles sont situées très près des trois centroïdes en sol argileux.

3.3.2 L'effet du nombre de brûlis sur les variables de fertilité

Pour les deux types de sol, il n'y avait pas de différence entre un brûlis et cinq brûlis et plus pour la densité. Un nombre plus élevé de brûlis était associé à une baisse de carbone ($p = 0.2333$) et d'azote total ($p = 0.2332$) d'environ 20%, et de près de la moitié dans le cas du NH_4 ($p = 0.2474$) pour les jachères sur sols sablonneux, alors que ces variables ont été peu ou pas influencées dans le cas des sols argileux (%C : $p = 0.9326$, %N : $p = 0.9585$ et NH_4 : $p = 0.2982$). Ces baisses n'étaient toutefois pas significatives. Par contre, un nombre de brûlis supérieur à 5 a affecté le processus de nitrification de façon significative pour les jachères des deux classes texturales, les teneurs en NO_3 ayant chuté de 55% pour les sols argileux ($p = 0.0093$) et de 81% pour les sols sablonneux ($p = 0.0005$) (tableau 1.3).

Quoiqu'il n'y ait pas eu de différence entre un brûlis et cinq brûlis et plus pour le pH, cinq brûlis et plus ont été associés à des teneurs en cations significativement plus importantes pour les jachères sur sols argileux (55%, 71% et 83% pour Ca ($p = 0.0150$), Mg ($p = 0.0058$) et K ($p = 0.0082$) respectivement). Bien qu'une augmentation significative des concentrations de K pour les jachères sur sols sablonneux (44%, $p = 0.0324$) était perceptible. Les teneurs en Ca ($p = 0.5801$) et en Mg ($p = 0.5801$) ont toutefois baissées de 18 et 46% respectivement, même si ce n'était pas significatif. Les valeurs de Ca et Mg restent tout de même élevées

après 5 brûlis et plus comparativement aux valeurs de forêts primaires. Enfin, un nombre de brûlis égal ou supérieur à 5 a entraîné des pertes de toutes les formes de phosphore pour les jachères sur sols sablonneux (Pcdb : $p = 0.0222$; Papa : $p = 0.2686$; Porg : $p = 0.0120$ et Pexe, $p = 0.6871$) et de Pcdb et Papa pour celles sur sols argileux (Pcdb : $p = 0.2423$ et Papa : $p = 0.2651$) (tableau 1.3). Toutefois, les baisses associées aux différentes formes de phosphore ne sont significatives que pour le Pcdb et Porg en sols sablonneux, représentant 70% de diminution pour le Porg. Les résultats avancés ici sont globalement en accord avec ce qui a été observé dans la AC.

3.3.3 L'effet du nombre de brûlis sur les teneurs en Hg total et sur le Hg associé aux fractions granulométriques

Un nombre de brûlis égal ou supérieur à 5 a été associé à des baisses des teneurs en Hg total tant pour les jachères sur sols argileux (34%, $p = 0.0016$) que celles sur sols sablonneux (41%, $p = 0.0088$). Les pertes observées sont de même amplitude pour les deux types de sol, soit de 40 ng/g en sol argileux et de 33 ng/g en sol sablonneux. Les brûlis répétés ont par ailleurs été reliés à des pertes de Hg associé aux particules fines, surtout pour les jachères sur sols sablonneux (53%, $p = 0.0035$), mais également dans les sols argileux (37%, $p = 0.0347$). Par contre, des brûlis fréquents ont été reliés à une augmentation du Hg associé aux particules grossières, légère pour les jachères sur sols argileux (10%, $p = 0.7646$) mais spectaculaire pour celles établies sur sols sablonneux (6 fois plus, $p < 0.0001$) (tableau 1.3). Mise à part la différence en Hg lié aux particules grossières entre 1 et 5 brûlis et plus en sol argileux, les autres comparaisons sont toutes statistiquement significatives.

4. Discussion

4.1 Évolution des propriétés physico-chimiques des sols en fonction de l'âge des jachères et persistance des impacts du déboisement ayant précédé leur implantation

Contrairement à plusieurs études qui ont montré que les jachères pouvaient améliorer la structure des sols par l'action des racines des plantes qui y poussent, diminuant ainsi leur densité (Ashton et Montagnini, 2000; Olivier, Nijiti et Harmand, 2000 et Salako *et coll.*, 2001;), cette étude n'a pas permis de mettre en lumière une telle action des jachères établies sur sols argileux, et ce, même à long terme. Les sols de ces jachères ont en effet une densité supérieure à ceux des forêts primaires, tous âges confondus (tableau 1.1). Il est probable que l'érosion de particules fines encourues lors du déboisement et encore détectables dans ces jachères aient joué un rôle plus grand sur la densité des sols argileux que l'action bénéfique des racines à cet égard. La perte de la fraction fine est principalement due à l'érosion survenant en l'absence de couvert végétal durant les premières années de culture suivant le brûlis (Béliveau, 2007; Salako *et coll.*, 2001 et Valentin et Janeau, 1990), avant que le processus ne soit ralenti puis arrêté par l'établissement de la jachère (Szott, Palm et Buresh, 1999). D'ailleurs, les jachères établies sur sols sablonneux n'ont pas subi de pertes de particules fines, ce qui s'est reflété par des densités de sol semblables à celles des forêts primaires.

Les résultats de cette étude montrent que les niveaux de carbone et d'azote des jachères n'étaient pas significativement différents des forêts primaires, suggérant une certaine récupération des pertes encourues lors du déboisement ou tout simplement, dans le cas de l'azote, l'absence de perte suite au brûlis. Il est à noter que les niveaux étaient tout de même bas en jachère sur sol sablonneux. Plusieurs recherches ont souligné l'enrichissement des réservoirs de carbone et d'azote avec le temps dans les sols de jachères. En effet, les végétaux vont séquestrer du carbone (Feldpausch *et coll.*, 2004; Kotto-Same *et coll.*, 1997; Olivier, Nijiti et Harmand, 2000; Sarmiento et Bottner, 2002; Schroth *et coll.*, 2002 et Zarin *et coll.*,

2005) et fixer de l'azote atmosphérique dans leur biomasse végétale lors de leur croissance (Alegre *et coll.*, 2005; Boddey *et coll.*, 1997; Feldpausch *et coll.*, 2004; Gehring *et coll.*, 2005; Olivier, Njiti et Harmand, 2000; Sarmiento et Bottner, 2002 et Szott, Palm et Buresh, 1999). Cet accroissement de la biomasse avec l'âge des jachères va au fil du temps fournir au sol un apport de plus en plus important en matière organique. Éventuellement, la matière organique constituée par la litière, les racines et le bois mort se décomposera et permettra l'accumulation dans les sols de carbone d'azote. Compensant ainsi la perte de carbone et d'azote subi lors du brûlis par volatilisation ainsi que lors de la minéralisation subséquente de la matière organique et du lessivage du NO_3 qui s'en suit, ainsi que des prélèvements par les récoltes des cultures (Andriesse et Schelhaas, 1987; Cahn, Bouldin et Cravo, 1992; Dechert, Veldkamp et Anas, 2004; Hartemink *et coll.*, 1996; Hölscher *et coll.*, 1997; Huges, Kauffman et Cumming, 2002; Jordan, 1989; Kotto-Same *et coll.*, 1997; Mackensen *et coll.*, 1996; Schroth *et coll.*, 2002; Szott, Palm et Buresh, 1999; Vågen, Andrianorofanomezana et S. Andrianorofanomezana, 2006 et Zarin *et coll.*, 2005). L'atteinte des réservoirs d'azote par l'agriculture sur brûlis ne fait cependant pas consensus. Certaines études affirment qu'il n'y a pas de baisse significative de l'azote total dans les sols suivant le brûlis (Béliveau, 2007; Hölscher *et coll.*, 1997 et Jordan *et coll.*, 1983).

Globalement, les valeurs de NH_4 des sols de surface des jachères n'ont pas différé de celles des forêts primaires. Malgré cela, les jeunes jachères, tant celles établies sur sols sablonneux que sur sols argileux, se sont caractérisées par des valeurs de NH_4 bien inférieures à celles des forêts primaires (figure 1.3). À cette étape de leur croissance, la signature des brûlis ayant précédé leur établissement a semblé encore visible. En effet, plusieurs recherches observent une diminution importante du NH_4 suite à un brûlis, qui migre vers les horizons profonds ou est perdu par lessivage (Béliveau, 2007 et Sarmiento et Bottner, 2002). Farella et collègues (2007) ont suggéré que ce processus soit relié à la compétition causée par l'arrivée massive des cations en surface. Cette étude a en effet confirmé une migration du NH_4 vers les horizons profonds dans le cas des jachères sur sols sablonneux, mais pas pour celles établies sur sols argileux. Il est possible que la plus grande disponibilité des sites de liaisons sur la fraction fine en sol argileux explique que la compétition du NH_4 avec les cations ait été moins forte qu'en sol sablonneux. Toutefois, les niveaux de NH_4 des jachères sur sol argileux ont

remonté vers des valeurs semblables aux forêts primaires avec le temps. Farella et collègues (2007) ont également observé une tendance similaire après 15 ans, ainsi que Sarmiento et Bottner (2002). Ces derniers relient la hausse de NH_4 à l'augmentation de la biomasse microbienne, déterminante dans l'ammonification, et qui peut potentiellement se reconstituer avec la formation du couvert forestier et l'apport grandissant de matière organique.

Habituellement, on peut présumer d'une détérioration de la qualité des sols (Duchaufour, 2001) lorsque l'ammonification domine par rapport à la nitrification. La remarquable augmentation du rapport NH_4/NO_3 de cette étude pour les sols de jachères sur sol sablonneux va dans ce sens. Globalement, les valeurs élevées de NH_4 combinées aux baisses importantes de NO_3 observées pour les jachères établies sur sols sablonneux, et ce, à toutes les profondeurs (figure 1.3), permettent d'expliquer le changement de ce rapport. Schroth et collègues (1999) trouvent des baisses similaires de NO_3 dans les jachères de 6 ans, en comparaison à des forêts primaires. Plusieurs hypothèses sont avancées dans les articles scientifiques pour expliquer de faibles concentrations de NO_3 dans les jachères. Elles peuvent être attribuables, selon la méta analyse de Szott, Palm et Buresh (1999) et les travaux de Sarmiento et Bottner (2002), à de faibles apports de matière organique limitant ainsi la nitrification, à une augmentation de la dénitrification ou à l'immobilisation très rapide du NO_3 par les plantes. Malgré cela, les teneurs en NO_3 mesurées dans les sols argileux augmentent avec l'âge des jachères, bien qu'en surface seulement. En effet, ces valeurs atteignent celles des forêts primaires après 15 ans. Rien de tel pour les jachères établies sur sols sablonneux où les valeurs ne semblent pas récupérer à long terme. La récupération est peut-être plus difficile en sol sablonneux qui sont par nature moins riches en argiles, retenant naturellement moins bien les éléments du sol.

Les variations des valeurs de pH en fonction de l'âge des jachères semblent bien expliquées par la dynamique des cations. Le pH des sols était en effet très élevé dans les jeunes forêts secondaires, puis il atteignait des valeurs semblables à celles des forêts primaires dès l'âge de 7 ans, à la suite de l'immobilisation des cations par la nouvelle biomasse végétale forestière (Farella et coll., 2007). Bien que ce pH soit trop faible pour soutenir de façon durable

l'agriculture en milieu tropical (Cochrane et Sanchez, 1982), l'immobilisation des cations dans la biomasse forestière constitue un réservoir se déplaçant des sols vers les parties aériennes de la jachère, qui pourra éventuellement être retourné à la terre suite à un nouveau brûlis. Les jeunes forêts secondaires ont présenté des concentrations très élevées de cations par rapport aux forêts primaires, ce qui témoignait de la signature persistante des brûlis antérieurs à leur établissement. Cet enrichissement était si important que les niveaux de Ca et de Mg les premières années de jachère, étaient bien supérieurs aux moyennes des forêts primaires (figure 1.5). La combustion de la forêt retourne en effet au sol, par ses cendres, une fraction importante des cations contenus dans la biomasse végétale (Béliveau, 2007; Hölscher *et coll.*, 1997 et McGrath *et coll.*, 2001), bien qu'une partie puisse être lessivée, volatilisée ou récalcitrante (Kleinman, Pimentel et Bryant, 1995). Mais à environ 7 ans d'âge, les jachères, surtout en sol argileux, présentaient des concentrations de Ca et de Mg similaires à celles des forêts primaires, ce qui témoigne d'une immobilisation de ces cations par les végétaux avec le temps. Ce phénomène d'immobilisation des cations avec l'âge des jachères est soulevé également dans les études de Farella et collègues (2007), Jordan (1989) et Szott et Palm (1996). Mais alors que le potassium a montré une dynamique similaire d'enrichissement suivi d'une immobilisation pour les jachères sur sols sablonneux, les teneurs de celles sur sols argileux, passé ce cap d'enrichissement, sont demeurées en deçà des forêts primaires (figure 1.6). Dans le cas des sols argileux, les résultats laissent croire à une immobilisation très importante de cet élément. Il est à noter que le potassium est un des éléments les plus labiles du sol et il est souvent limitant.

Dans cette étude, les formes de phosphore extraites montraient des niveaux semblables à ceux des forêts primaires (tableau 1.2). Plusieurs études affirment que les pertes de phosphore encourues lors des cultures précédant l'établissement des jachères sont négligeables et ne compromettent pas la croissance de la végétation secondaire (Frizano et coll., 2003 et Lawrence et Schlesinger, 2001), même si le phosphore est souvent qualifié d'élément le plus limitant en forêt tropicale. Toutefois, les concentrations mesurées de P_{cd} pour tous les horizons des sols argileux et de P_{ex} à la surface des jachères de 5 à 10 ans étaient tout de même particulièrement bas (figure 1.7). Ces deux formes de P sont facilement assimilables par les plantes comparativement au P_{pa} et P_{org}. Les faibles teneurs en P_{cd} sont

probablement dues à la perte de particules fines dans les sols argileux, car cette forme de phosphore est fortement liée aux particules fines (Duchaufour, 2001). L'âge ne semble d'ailleurs pas générer une reprise des teneurs en P_{cd}.

Quant au P_{ex}, le léger enrichissement mesuré en surface durant les trois premières années de la jachère est probablement imputable aux cendres déposées sur le sol lors du brûlis (Béliveau, 2007 et Vågen, Andrianorofanomezana et S. Andrianorofanomezana, 2006). Cet enrichissement semble toutefois suivi d'une immobilisation par la biomasse forestière entre 3 à 7 ans, puis à nouveau d'un réel enrichissement observable au-delà de cette période. Cette reprise du P_{ex} est possiblement attribuable à la décomposition de la litière de plus en plus abondante dû à la croissance de la végétation secondaire, qui grâce à ses racines, remet en circulation le phosphore contenu dans les horizons profonds (Lawrence et Schlesinger, 2001 et McGrath *et coll.*, 2001).

4.2 Dynamique du Hg en fonction de l'âge des jachères et persistance des impacts du déboisement ayant précédé leur implantation

Malgré les tests statistiques qui indiquent des concentrations en Hg non différentes statistiquement entre les jachères et les forêts primaires, il y a tout de même des pertes importantes de l'ordre de 30% en sols argileux et de 21% en sol sablonneux, qui sont équivalentes à ce qui est retrouvé dans l'étude de Farella (2007), qui obtient des baisses de l'ordre de 26% dans les deux types de sol. Cette diminution globale du Hg total dans les sols de surface des jachères tous âges confondus, tant sur substrat argileux que sablonneux, reflète l'impact du déboisement ayant précédé leur établissement. Ces diminutions sont possiblement liées aux pertes de particules fines en sol argileux et à l'enrichissement important en cations dans les jachères les plus jeunes. Ce résultat supporte ce qui a été démontré dans des études récentes en région tropicale humide, soit que le brûlis des forêts à des fins agricole causait le transfert d'une partie du mercure comprise dans les sols, où cet élément est naturellement abondant (Roulet et coll., 1998), vers les cours d'eau (Fostier *et*

coll., 2000 et Miretzky, Jardim et Rocha, 2005). Certaines études suggèrent que cette perte de Hg suite au brûlis et aux cultures subséquentes soit reliée à l'érosion des particules fines et de la matière organique, qui sont toutes deux fortement liées à ce contaminant (Almeida *et coll.*, 2005; Maurice-Bourgoin *et coll.*, 2003 et Mainville *et coll.*, 2006), par la volatilisation du Hg (Magarelli et Fostier, 2005) et par l'arrivée massive des cations qui sont en compétition pour les mêmes sites d'adsorption (Farella *et coll.*, 2007).

Cette étude propose par ailleurs qu'il existe une relation entre le Hg associé aux particules fines et l'âge des jachères en surface de celles établies sur sols sablonneux (figure 1.8). Cela suggère que plus les jachères de cette classe texturale sont vieilles, soit après 7 ans, plus le mercure des sols quitte les particules grossières pour retourner vers les particules fines où il est plus fortement lié. Béliveau (2007) avait montré que le Hg migrait des particules fines vers les particules grossières dans la première année suivant un brûlis pour les sols sablonneux. Il semblerait donc que ce processus s'inverse avec le temps lorsque les sols sont couverts de jachères en croissance. Ce transfert inverse pourrait s'effectuer suite à l'immobilisation des cations avec l'âge, les sites d'adsorption sur les particules fines étant de nouveau disponibles, permettant au Hg de s'y fixer. Cette hypothèse semble appuyée par la corrélation inverse qui existe entre le Hg rattaché aux particules fines et les concentrations de Ca, et par une diminution du Hg rattaché aux particules grossières avec l'âge des jachères (figure 1.8). Ce processus n'apparaît pas se produire dans les sols argileux ni en profondeur des sols sablonneux, où le pourcentage de particules fines était plus important. L'examen de la distribution du Hg sur les fractions granulométriques en milieu non perturbé suggère que dans le cas des forêts sur sols ayant davantage de particules fines, le Hg soit distribué plus équitablement entre les fractions fines et grossières, alors que pour celles sur sols dominés par des fractions plus grossières, le Hg domine sur les fractions fines. Mais dès que le brûlis intervient et qu'il y a saturation des sites par les cations, les sols sablonneux apparaissent particulièrement vulnérables, alors que les sites d'adsorption des particules fines sont monopolisés par les cations, créant une migration du Hg vers les particules grossières. L'inversion du phénomène sous jachères pour les sites sur texture plus grossière, tel qu'en témoigne la présente étude, pourrait donc contribuer à stabiliser le risque de pertes de Hg des

sols dans ce contexte. Ces résultats suggèrent l'importance de maintenir un couvert forestier particulièrement dans le cas des sols sablonneux, pour limiter la perte de Hg des sols.

4.3 L'effet du nombre de brûlis effectués sur le site des jachères avant leur établissement quant aux caractéristiques physico-chimiques et aux teneurs en Hg de leurs sols actuels

4.3.1 Caractéristiques physico-chimiques

Pour les jachères établies sur des sols argileux qui avaient subi préalablement un grand nombre de brûlis, l'enrichissement en cations est demeuré cumulatif, ce qui suggère qu'il n'y a pas eu de saturation pour ces éléments. Les réserves de C et de N total, de même que de NH_4 , n'ont pas non plus semblé affectées par les brûlis à répétition dans cette étude (tableau 1.3 et figure 1.9). Zarin et collègues (2005) ont pour leur part montré que 5 brûlis et plus induisaient une perte de 50 % de carbone dans les sols tropicaux de leur étude (Miami Biomass Model). Les jachères sur sites argileux qui ont supporté 5 brûlis et plus avant leur établissement étaient caractérisées par la prépondérance de plants de bananiers (*Musa* spp.), cette culture étant brûlée à tous les 3 à 5 ans par les agriculteurs dans la région à l'étude (Farella (2005). Or les résidus de cette culture sont reconnus pour être un amendement organique de bonne valeur (Doran, Sisen et Kaya, 2003 et Phirke et Kothari, 2005). La présence des bananiers pourrait expliquer que les sols actuels n'aient pas été plus dégradés quant aux indicateurs de matière organique après 5 brûlis et plus. Les sols argileux de ces jachères étaient par contre plus pauvres en NO_3 et également pour certaines formes de phosphore (Papa et Pcdb) (tableau 1.3). Il semble donc que la présence de bananiers n'ait pas joué un rôle de protection des sols pour ces éléments. Dans le cas des nitrates, les pertes classiques de cette forme d'azote disponible, sensible à une nitrification accélérée consécutive au brûlis et au plus grand lessivage qui s'en suit, ont semblé prévaloir (Béliveau, 2007 ; Hölscher *et coll.*, 1997 et Wick *et coll.*, 2005,). Le NO_3 étant plus labile que le NH_4 , ses concentrations ont été davantage affectées. Également, malgré l'absence de différence entre 1 brûlis et 5 brûlis et plus, on observe tout de même des baisses de l'ordre de 30% de

Pcdb et Papa. Dans le cas du Pcdb, certains chercheurs expliquent la baisse des concentrations de phosphore post brûlis par la transformation des formes de phosphore les plus labiles (correspondant ici au Pcdb) en des formes moins disponibles (Jordan, 1989). Cette baisse n'était toutefois pas reliée à une perte plus élevée de particules fines dans le cas d'un plus grand nombre de brûlis. Les pertes de Papa sont beaucoup moins préoccupantes pour leur part, car c'est une des formes les plus récalcitrantes du sol qui n'est pas directement assimilable par les végétaux.

Les sols des jachères établies sur site sablonneux étaient globalement plus affectés par un nombre répété de brûlis que celles sur sites argileux, démontrant un potentiel de récupération global plus faible. En effet, le seul site sablonneux sur lequel il y a eu 5 brûlis et plus (9 brûlis dans ce cas en 40 ans) présentait des concentrations en NO_3 particulièrement basses, une diminution encore plus prononcée qu'en sols argileux. Les autres indicateurs de matière organique (%C, %N et NH_4) montraient également une diminution, mais dans une moindre mesure (tableau 1.3 et figure 1.9). En plus, l'ensemble des formes de phosphore de cette jachère sablonneuse avait des valeurs particulièrement basses, et même l'enrichissement en cations ne se fait plus sentir, sauf pour le K. Il serait important de valider ces résultats sur un plus grand nombre de sites sablonneux ayant subi plus de 5 brûlis et sur des sites où l'année du déboisement de la forêt primaire est de préférence la même. Ces résultats soulignent à nouveau le faible pouvoir de récupération des forêts secondaires sur sols sablonneux, accentuée quand le nombre de brûlis augmente.

4.3.2 Teneurs en Hg

Il est préoccupant de constater des baisses aussi importantes que 35% et 41% du Hg total suite à un plus grand nombre de brûlis ayant précédé l'établissement des jachères sur sols argileux et sablonneux (tableau 1.3), dans le contexte où les sols de la région à l'étude sont parmi les plus riches naturellement en mercure (Roulet et *coll.*, 1998). Des pertes bien supérieures à ce qui est observé par Farella (2007), soit des baisses de Hg de l'ordre de 26%

entre les forêts primaires et les jachères, mais plus modeste que ce qui est trouvé par Mainville et coll., (2006), qui évalue que jusqu'à 60% du Hg peut quitter le sol suite à un brûlis et aux années de pâturage subséquentes. Les pertes de Hg se sont donc accentuées en fonction du nombre de brûlis, cette signature étant toujours présente sous les sols forestiers des jachères. Les pertes de mercure en sol sablonneux, relativement importantes, pourraient être reliées au plus faible potentiel de rétention de ces derniers, particulièrement après brûlis, car le Hg migre des particules fines vers les particules grossières avec l'arrivée des cations. Le Hg étant par le fait même moins retenue par la matrice du sol (Béliveau, 2007). Des brûlis rapprochés sur cette classe texturale pourrait possiblement empêcher le retour du Hg des particules grossières vers les particules fines. Effectivement, même après 5 ans, le site sablonneux qui avait subi neuf brûlis avait une concentration très faible de Hg rattaché aux particules fines et une concentration excessivement élevée de Hg rattaché aux particules grossières (tableau 1.3). Toutefois, dans les sites argileux ce phénomène ne semble pas avoir lieu. Le Hg semble un indicateur très intéressant de la dégradation des sols, qui reflète bien l'impact des brûlis répétés.

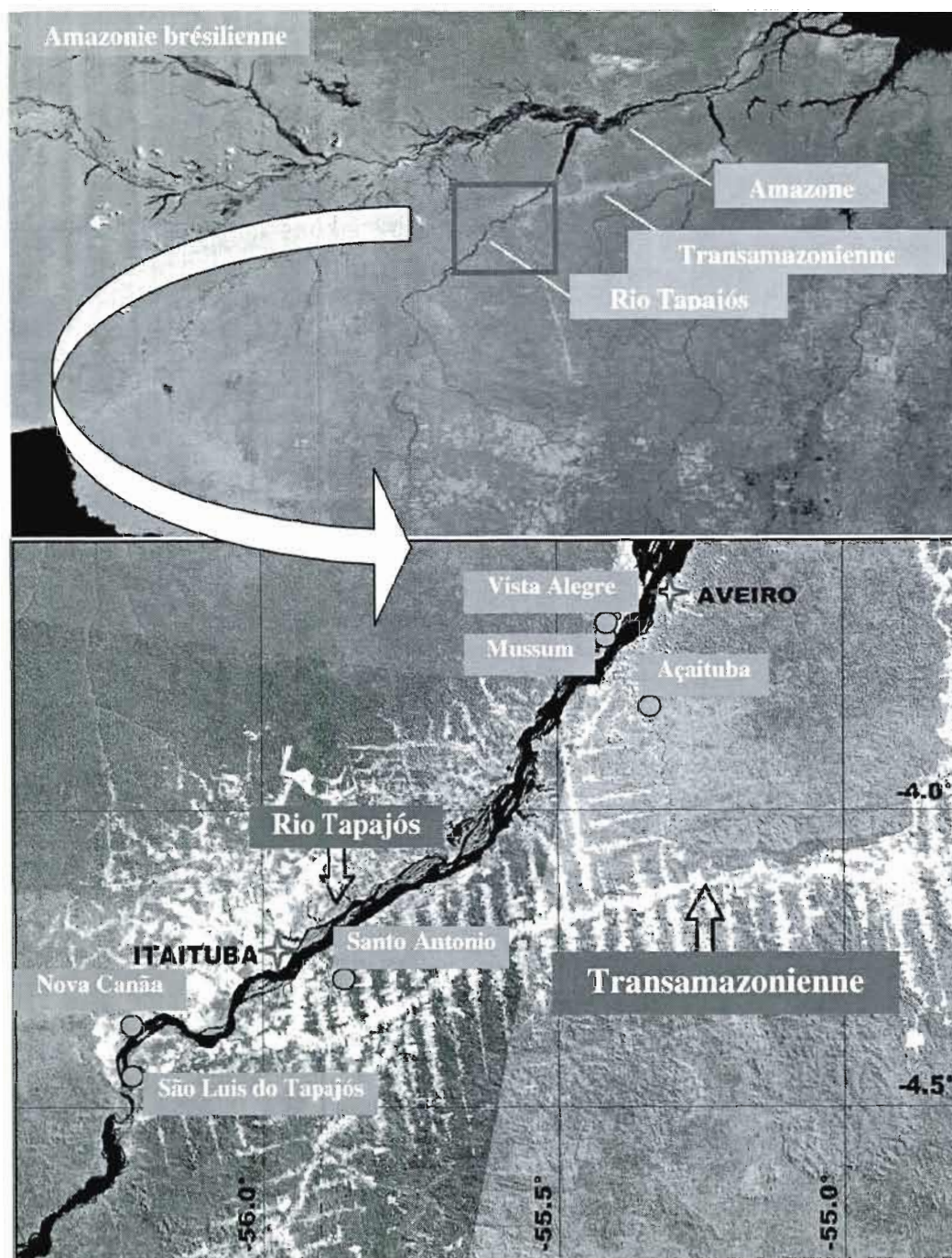
5. Conclusion

Malgré que la grande variabilité édaphique ait parfois empêché l'expression de résultats significatifs quant à la fertilité des jachères en comparaison avec celle des forêts primaires, l'étude suggère tout de même que les sols de jachères établies sur sites sablonneux récupèrent plus difficilement, principalement en ce qui a trait à la matière organique. Ces jachères sont également plus sévèrement affectées par un nombre répété de brûlis. Les sols de jachères sur sites argileux possèdent quant à eux un pouvoir de récupération plus grand, démontrant une capacité à retrouver des niveaux de fertilité équivalents aux forêts primaires après 15 ans suggérant que le brûlis de ces parcelles à des fins agricoles soit envisageable à ce moment, alors que les jachères sur sols sablonneux semblent moins propices à de nouveaux cycles de culture. Toutefois, des pertes importantes de Hg total, bien que non significatives, ont été observées pour les jachères établies sur les deux types de sol, en lien avec les périodes de culture antérieures à leur établissement. Un grand nombre de brûlis semble d'ailleurs mener à

une plus grande perte de Hg du système. Un phénomène très intéressant concernant le Hg a été mis en lumière par cette étude, soit le retour du Hg des particules grossières vers les particules fines en surface des sols sablonneux à la suite de l'immobilisation des cations par la biomasse végétale, après environ 7 ans de jachère. Ce phénomène ne semble toutefois pas se réaliser dans les sols argileux où une abondance de particules fines permet possiblement le maintien du Hg sur les particules fines même suivant l'arrivée des cations. Cette hypothèse reste cependant à être validée par de futures recherches.

Cette étude suggère qu'il faille accorder une attention toute particulière à la texture des sols dans la gestion des terres et à l'âge des forêts. Des jachères âgées semblent par ailleurs abondantes dans la région selon les observations de cette étude. L'utilisation de ces vieilles jachères sur sols argileux pourrait permettre de réduire la pression sur les forêts primaires de moins en moins présentes. Dans le même ordre d'idée, il pourrait être possible de réduire le nombre d'années nécessaires avant de pouvoir cultiver à nouveau les sites des jachères sur sols argileux, tel que proposé notamment dans plusieurs études, par la plantation de certaines légumineuses indigènes et arbres fruitiers, ces plantes fixant l'azote atmosphérique et fournissant une litière plus abondante. Cela ne signifie pas toutefois de procéder à un nombre illimité de révolution. Leurs teneurs en Hg plus élevées demanderaient cependant le développement de techniques culturales prévenant l'érosion afin de limiter la contamination des écosystèmes aquatiques. Les résultats indiquent qu'il y a encore place à l'amélioration dans les pratiques concernant l'utilisation des jachères par les fermiers de la région du Rio Tapajós, pour tendre vers une agriculture durable.

Figure 1.1 : Carte de la région d'étude



- Les communautés visitées sont représentées par des ronds
- ✦ Les villes les plus importantes sont représentées par des étoiles

Fig 1.2 : Variations de % C et % N total en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

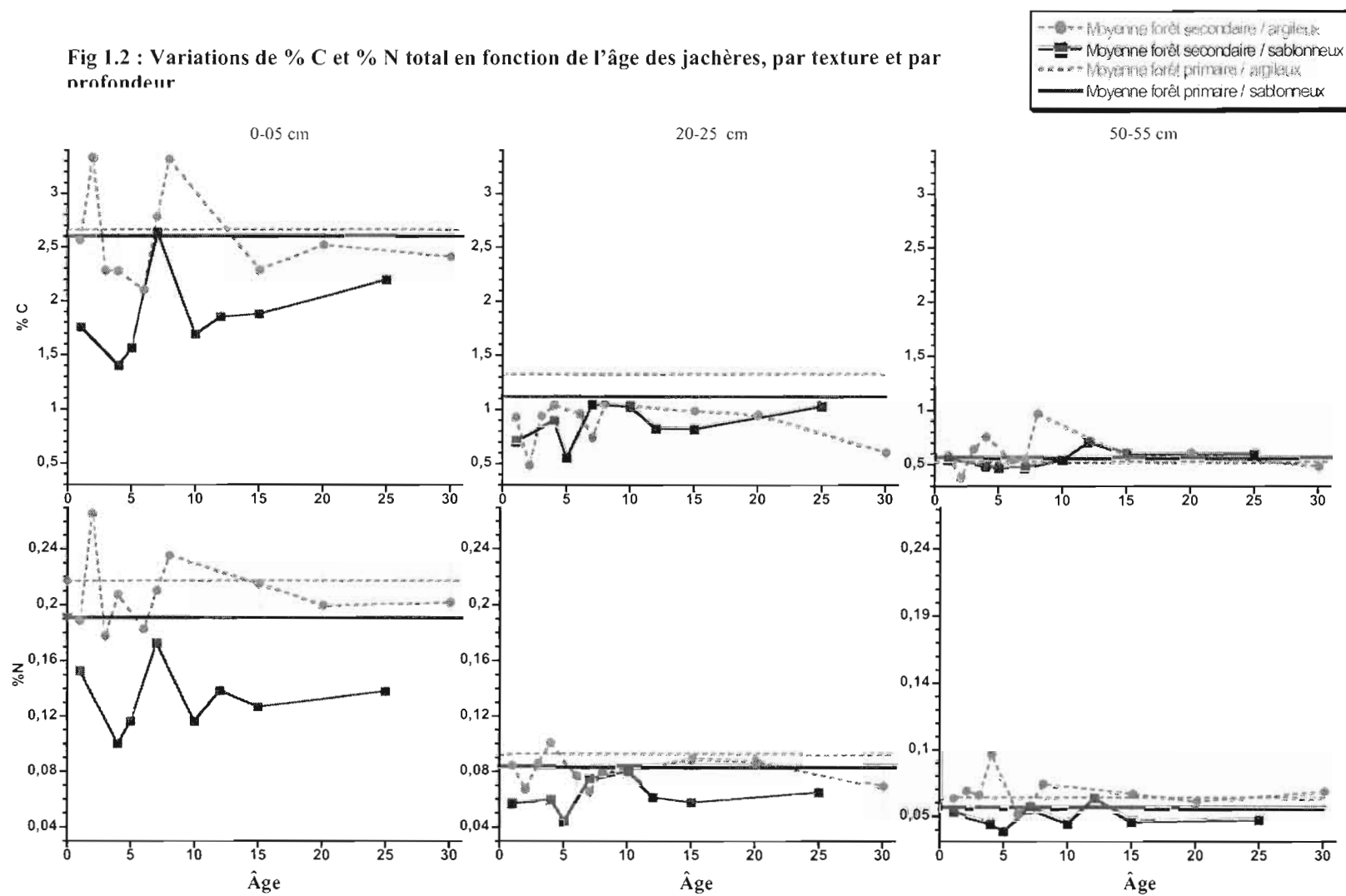


Fig. 1.3 : Variations de NH_4 et NO_3 en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

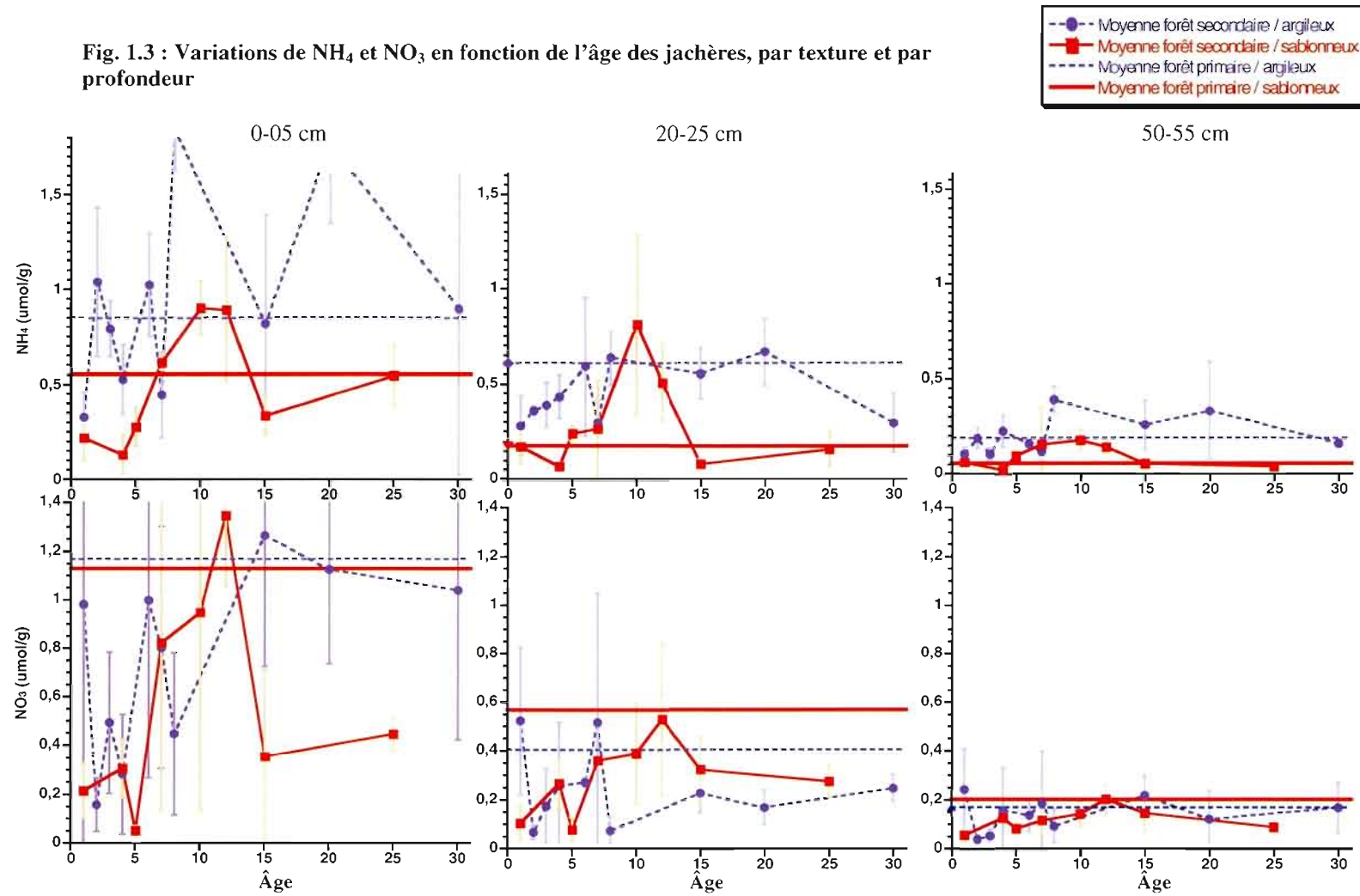


Fig. 1.4 : Variations du pH en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

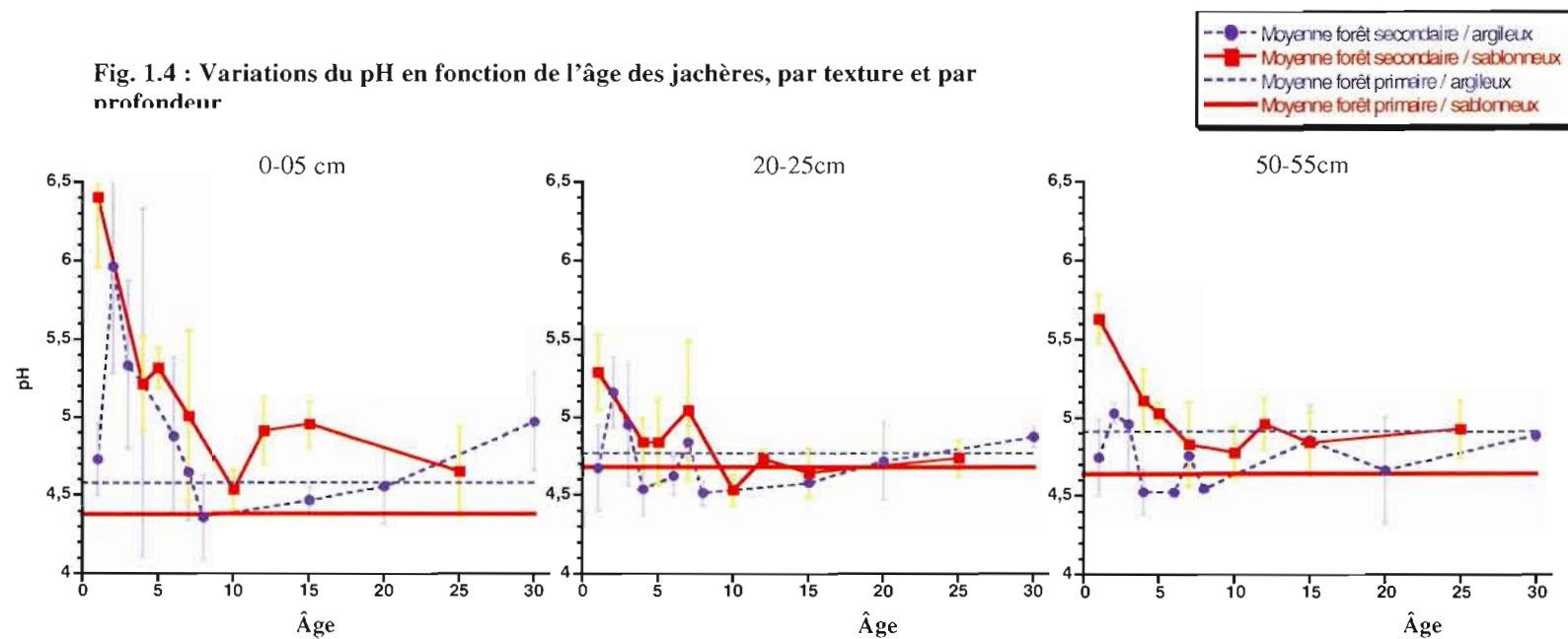


Fig. 1.5 : Variations du Ca et Mg en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

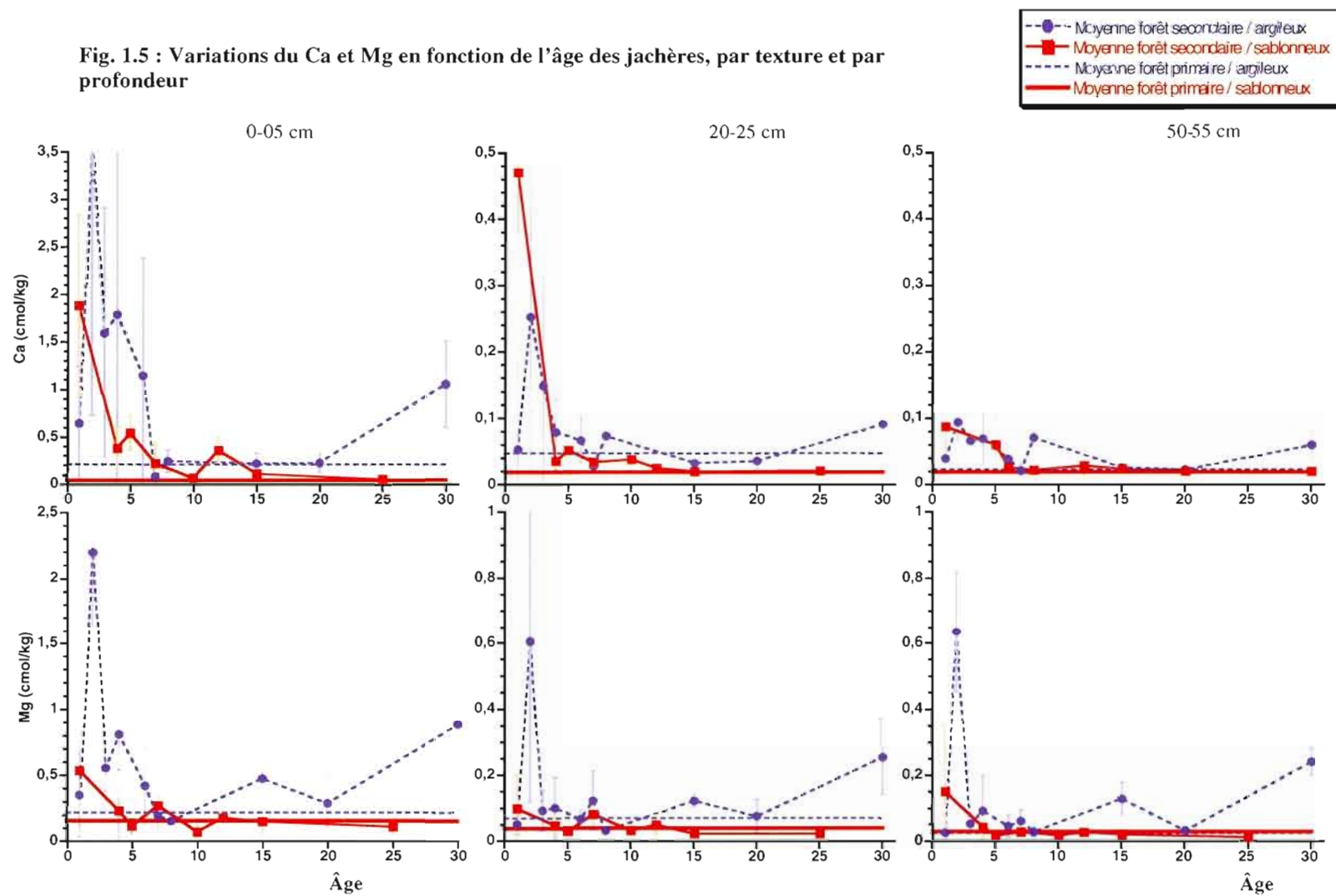


Fig.1.6 : Variations du K en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

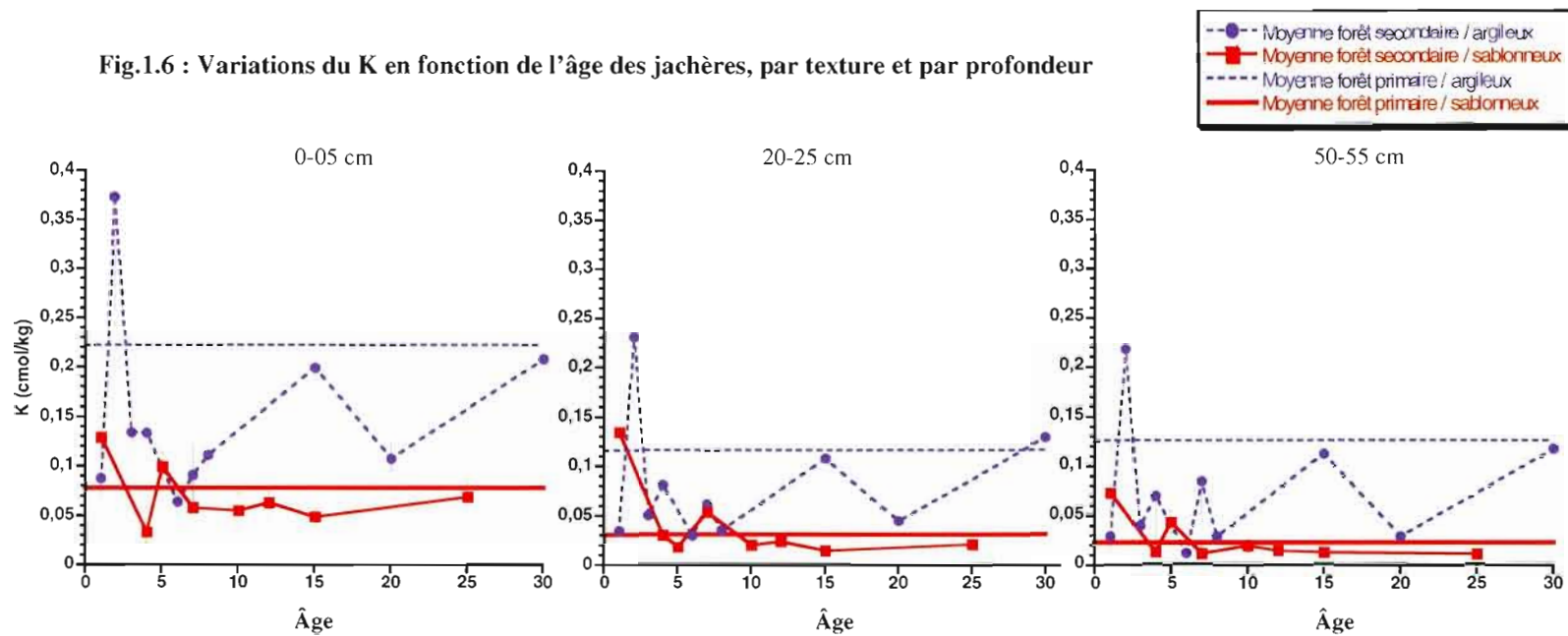


Fig. 1.7 : Variations du Pexé et PcdB en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

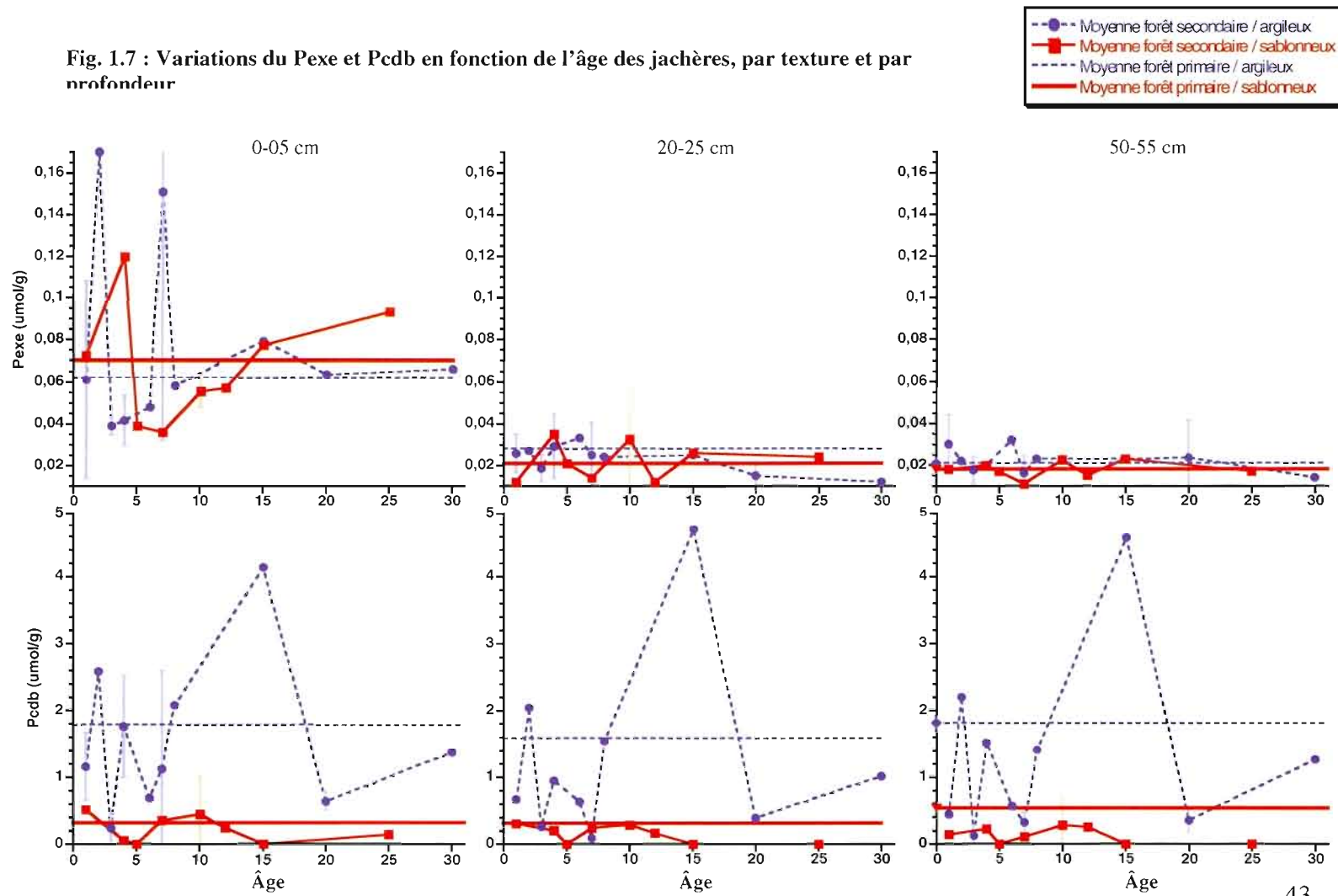


Fig. 1.8 : Variations du Hg pf et Hg pg en fonction de l'âge des jachères, par texture et par profondeur

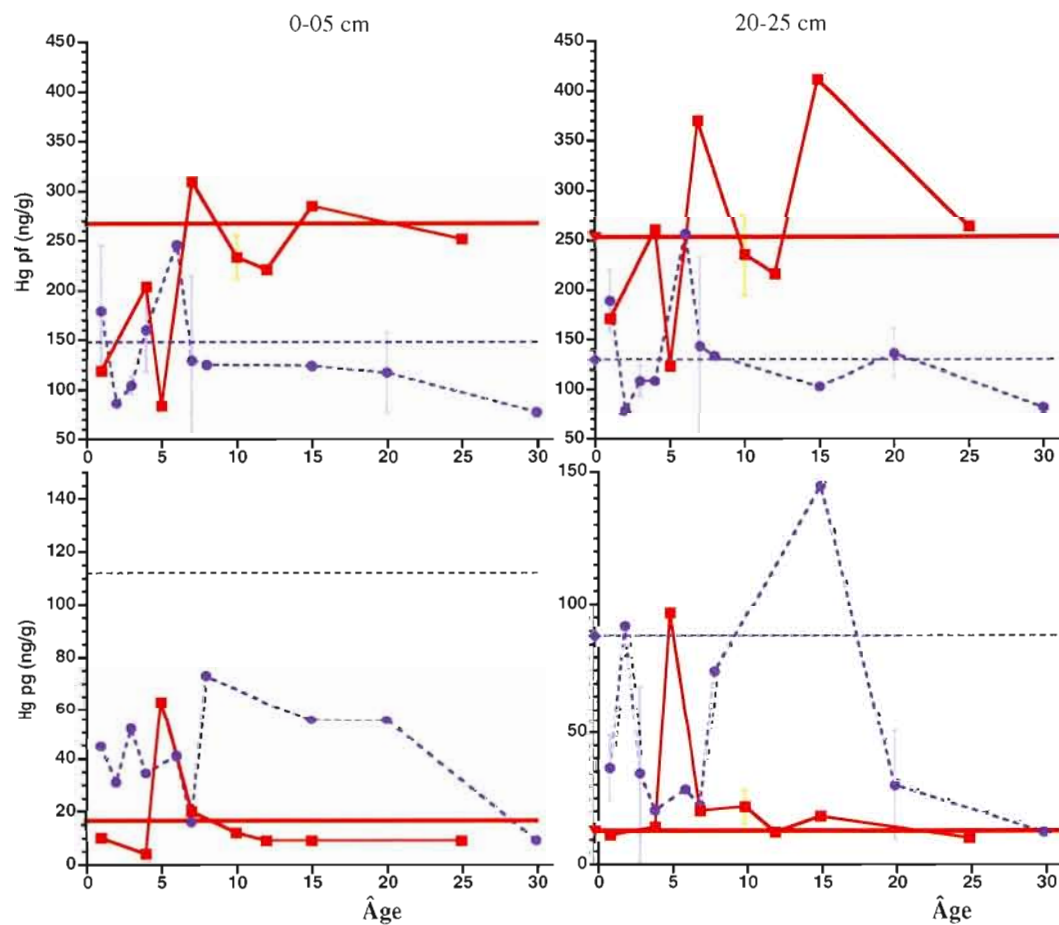


Figure 1.9 : Analyse de correspondance de l'effet du nombre de brûlis sur les variables édaphiques par type de sol, horizons 0-5 et 20-25cm confondus

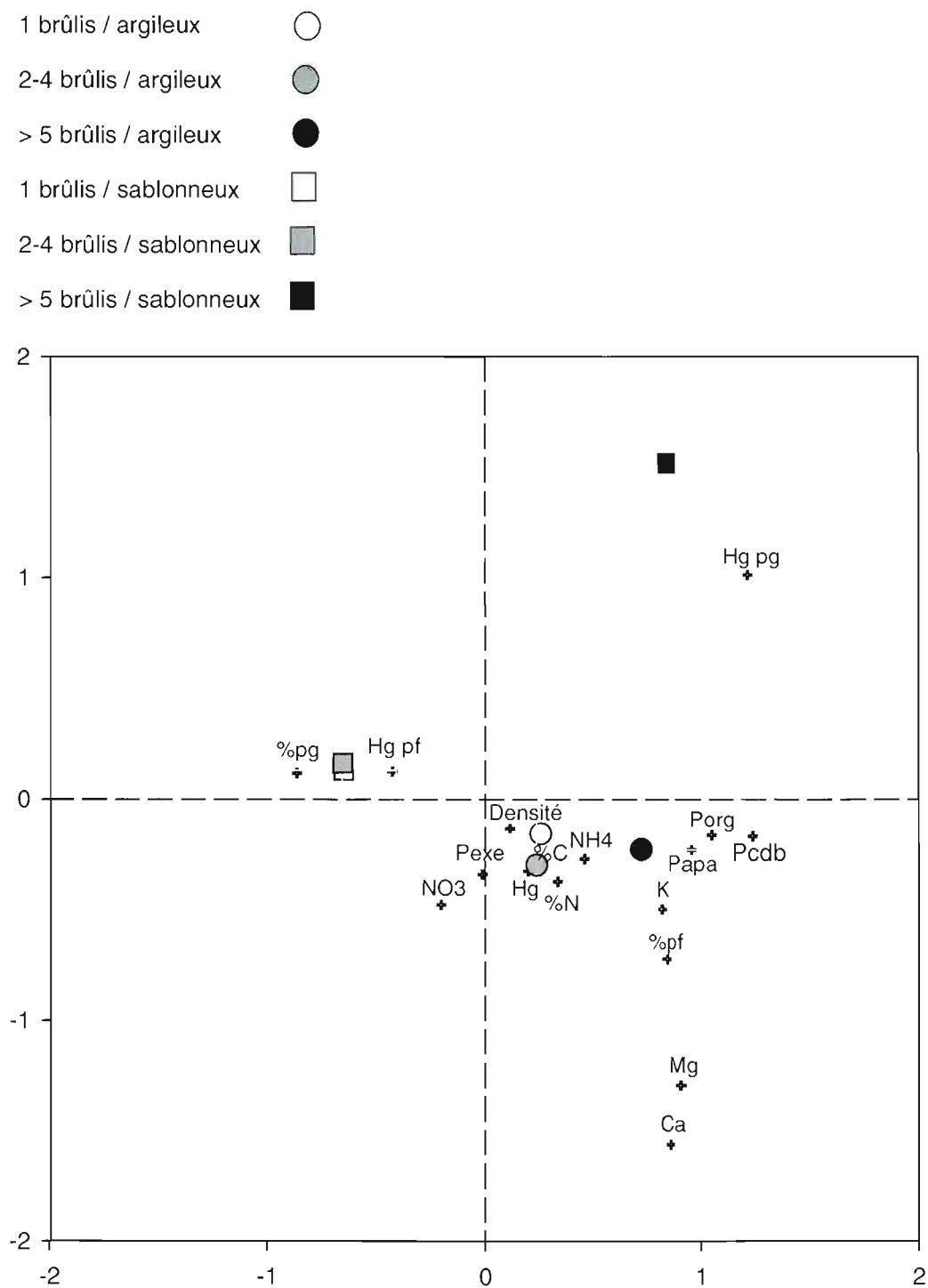


Tableau 1.1 : Valeurs de densité, granulométrie, Hg et de matière organique par type de forêts et de sol, tous âges confondus

| | Horizon | Moyenne ± écart type | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | Argileux | | Sablonneux | |
| | | Forêt primaire n=3 | Jachère n=16 | Forêt primaire n=2 | Jachère n=9 |
| Densité g/cm ³ | 0-05 | 1,13 ± 0,18^A | 1,3 ± 0,13^B | 1,30 ± 0,17 ^{AB} | 1,34 ± 0,08 ^B |
| | 20-25 | 1,30 ± 0,19^A | 1,43 ± 0,17^B | 1,43 ± 0,05 ^{AB} | 1,45 ± 0,07 ^{AB} |
| | 50-55 | 1,47 ± 0,23^A | 1,43 ± 0,15^A | 1,43 ± 0,07 ^A | 1,43 ± 0,08 ^A |
| % pf | 0-05 | 58,67 ± 16,28 ^A | 44,00 ± 13,22 ^A | 12,00 ± 4,24 ^{AB} | 12,50 ± 6,73 ^B |
| | 20-25 | 67,33 ± 16,86 ^A | 53,87 ± 12,41 ^A | 22,00 ± 8,49 ^{AB} | 19,00 ± 7,66 ^B |
| % pg | 0-05 | 11,67 ± 11,01 ^{AB} | 21,75 ± 14,32 ^A | 42,50 ± 3,53 ^{AB} | 46,40 ± 20,87 ^B |
| | 20-25 | 9,00 ± 6,56 ^A | 16,06 ± 9,10 ^A | 35,00 ± 1,41 ^{AB} | 37,50 ± 17,21 ^B |
| Hg total ng/g | 0-05 | 113 ± 67 ^A | 89 ± 33 ^A | 87 ± 43 ^{AB} | 61 ± 36 ^B |
| | 20-25 | 113 ± 72 ^A | 111 ± 38 ^A | 125 ± 45 ^A | 97 ± 35 ^A |
| | 50-55 | 108 ± 81 ^{AB} | 123 ± 48 ^A | 129 ± 60 ^{AB} | 105 ± 41 ^B |
| Hg pf ng/g | 0-05 | 148 ± 101 ^A | 139 ± 56 ^A | 268 ± 46 ^{AB} | 213 ± 70 ^B |
| | 20-25 | 130 ± 86 ^A | 144 ± 55 ^A | 254 ± 78 ^{AB} | 250 ± 88 ^B |
| Hg pg ng/g | 0-05 | 112 ± 86 ^A | 41 ± 26 ^A | 17 ± 12 ^{AB} | 16 ± 17 ^B |
| | 20-25 | 88 ± 82 ^{AB} | 43 ± 35 ^A | 14 ± 6 ^{AB} | 25 ± 26 ^B |
| % C | 0-05 | 2,66 ± 0,88 ^A | 2,55 ± 0,86 ^A | 2,60 ± 1,49 ^{AB} | 1,82 ± 0,59 ^B |
| | 20-25 | 1,32 ± 0,89 ^A | 0,88 ± 0,25 ^A | 1,12 ± 0,50 ^A | 0,87 ± 0,22 ^A |
| | 50-55 | 0,52 ± 0,24 ^A | 0,59 ± 0,17 ^A | 0,56 ± 0,13 ^A | 0,55 ± 0,10 ^A |
| % N | 0-05 | 0,22 ± 0,05 ^A | 0,20 ± 0,06 ^A | 0,19 ± 0,10 ^{AB} | 0,13 ± 0,04 ^B |
| | 20-25 | 0,09 ± 0,02 ^A | 0,08 ± 0,02 ^A | 0,08 ± 0,04 ^{AB} | 0,06 ± 0,02 ^B |
| | 50-55 | 0,06 ± 0,01 ^A | 0,06 ± 0,01 ^{AB} | 0,05 ± 0,01 ^{AB} | 0,05 ± 0,01 ^B |
| NH₄ μmol/g | 0-05 | 0,83 ± 0,44 ^A | 0,86 ± 0,60 ^A | 0,56 ± 0,21 ^A | 0,54 ± 0,34 ^A |
| | 20-25 | 0,61 ± 0,43 ^A | 0,43 ± 0,20 ^A | 0,18 ± 0,06^B | 0,35 ± 0,37^C |
| | 50-55 | 0,17 ± 0,10 ^{AB} | 0,19 ± 0,13 ^A | 0,06 ± 0,03^B | 0,10 ± 0,08^C |
| NO₃ μmol/g | 0-05 | 1,18 ± 0,92 ^A | 0,77 ± 0,71 ^A | 1,14 ± 0,49 ^A | 0,60 ± 0,59 ^A |
| | 20-25 | 0,41 ± 0,15 ^{AC} | 0,30 ± 0,29 ^C | 0,57 ± 0,25 ^{AB} | 0,30 ± 0,20 ^B |
| | 50-55 | 0,17 ± 0,10 ^A | 0,15 ± 0,14 ^A | 0,20 ± 0,05 ^A | 0,13 ± 0,06 ^A |
| NH₄/NO₃ | 0-05 | 0,70 ± 0,54 ^A | 2,82 ± 4,88 ^A | 0,54 ± 0,22 ^A | 1,80 ± 1,72 ^A |
| | 20-25 | 1,62 ± 0,97 ^{AB} | 3,54 ± 4,11 ^A | 0,35 ± 0,15^B | 1,67 ± 2,01^A |
| | 50-55 | 1,15 ± 0,81 ^{ABC} | 2,59 ± 2,46 ^A | 0,29 ± 0,14^C | 0,91 ± 0,66^B |

* Les résultats du test de Noether sont représentés par les lettres A, B et C. Les différences significatives entre les forêts primaires et les jachères d'une même classe texturale, à un seuil de 0.05, sont exprimées en caractères gras.

Tableau 1.2 : Valeurs de pH, cations et phosphore par type de forêts et de sol, tous âges confondus

| | Horizon | Moyenne \pm écart type | | | |
|----------------------------|---------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | | Argileux | | Sablonneux | |
| | | Forêt primaire n=3 | Jachère n=16 | Forêt primaire n=2 | Jachère n=9 |
| pH | 0-05 | 4,6 \pm 0,6 ^{AB} | 5,0 \pm 0,8 ^A | 4,4 \pm 0,1 ^B | 5,1 \pm 0,6 ^A |
| | 20-25 | 4,8 \pm 0,4 ^A | 4,8 \pm 0,4 ^A | 4,7 \pm 0,2 ^A | 4,8 \pm 0,4 ^A |
| | 50-55 | 4,9 \pm 0,4 ^A | 4,8 \pm 0,3 ^B | 4,6 \pm 0,1 ^{AB} | 5,0 \pm 0,4 ^A |
| Ca cmol/kg | 0-05 | 0,21 \pm 0,20 ^{AB} | 1,03 \pm 1,59 ^A | 0,05 \pm 0,03 ^B | 0,42 \pm 0,20 ^{AB} |
| | 20-25 | 0,05 \pm 0,04 ^{ABC} | 0,08 \pm 0,10 ^A | 0,02 \pm 0,00 ^B | 0,07 \pm 0,12 ^C |
| | 50-55 | 0,02 \pm 0,01 ^A | 0,05 \pm 0,03 ^B | 0,02 \pm 0,01 ^A | 0,03 \pm 0,03 ^{AB} |
| Mg cmol/kg | 0-05 | 0,22 \pm 0,10 ^{AB} | 0,58 \pm 0,65 ^A | 0,16 \pm 0,12 ^{AB} | 0,19 \pm 0,19 ^B |
| | 20-25 | 0,07 \pm 0,03 ^A | 0,13 \pm 0,18 ^A | 0,04 \pm 0,03 ^B | 0,05 \pm 0,07 ^B |
| | 50-55 | 0,02 \pm 0,01 ^{AB} | 0,10 \pm 0,16 ^A | 0,03 \pm 0,02 ^{AB} | 0,04 \pm 0,07 ^B |
| K cmol/kg | 0-05 | 0,22 \pm 0,17 ^A | 0,13 \pm 0,09 ^{AB} | 0,08 \pm 0,03 ^{AB} | 0,07 \pm 0,03 ^B |
| | 20-25 | 0,12 \pm 0,11 ^A | 0,07 \pm 0,06 ^A | 0,03 \pm 0,01 ^{AB} | 0,04 \pm 0,04 ^B |
| | 50-55 | 0,13 \pm 0,17 ^{AB} | 0,06 \pm 0,06 ^A | 0,02 \pm 0,01 ^B | 0,02 \pm 0,02 ^B |
| Pexe μ mol/g | 0-05 | 0,06 \pm 0,049 ^A | 0,08 \pm 0,055 ^A | 0,07 \pm 0,004 ^A | 0,07 \pm 0,025 ^A |
| | 20-25 | 0,03 \pm 0,001 ^A | 0,02 \pm 0,009 ^A | 0,02 \pm 0,002 ^A | 0,02 \pm 0,011 ^A |
| | 50-55 | 0,02 \pm 0,045 ^{AB} | 0,02 \pm 0,009 ^A | 0,02 \pm 0,012 ^{AB} | 0,02 \pm 0,004 ^B |
| Pcdb μ mol/g | 0-05 | 1,78 \pm 1,74 ^{AB} | 1,36 \pm 1,08 ^A | 0,32 \pm 0,30 ^{AB} | 0,22 \pm 0,28 ^B |
| | 20-25 | 1,59 \pm 1,94 ^{AB} | 0,95 \pm 1,17 ^A | 0,31 \pm 0,44 ^{AB} | 0,16 \pm 0,17 ^B |
| | 50-55 | 1,81 \pm 2,44 ^{AB} | 0,91 \pm 1,15 ^A | 0,53 ^{AB} | 0,15 \pm 0,18 ^B |
| Porg μ mol/g | 0-05 | 5,61 \pm 3,04 ^A | 4,30 \pm 2,53 ^A | 0,95 \pm 0,90 ^{AB} | 1,12 \pm 0,91 ^B |
| | 20-25 | 4,66 \pm 2,13 ^{AB} | 4,62 \pm 3,49 ^A | 1,41 \pm 0,85 ^{AB} | 1,76 \pm 1,10 ^B |
| | 50-55 | 5,21 \pm 3,04 ^{AB} | 4,92 \pm 3,23 ^A | 1,51 \pm 1,01 ^{AB} | 1,68 \pm 1,18 ^B |
| Papa μ mol/g | 0-05 | 0,27 \pm 0,13 ^{AB} | 0,26 \pm 0,24 ^A | 0,05 \pm 0,02 ^{AB} | 0,08 \pm 0,05 ^B |
| | 20-25 | 0,24 \pm 0,17 ^{AB} | 0,18 \pm 0,16 ^A | 0,08 \pm 0,05 ^{AB} | 0,07 \pm 0,05 ^B |
| | 50-55 | 0,27 \pm 0,24 ^{AB} | 0,18 \pm 0,11 ^A | 0,11 \pm 0,08 ^{AB} | 0,07 \pm 0,06 ^B |

* Les résultats du test de Noether sont représentés par les lettres A, B et C. Les différences significatives entre les forêts primaires et les jachères d'une même classe texturale, à un seuil de 0.05, sont exprimées en caractères gras.

Tableau 1.3 : Comparaison du nombre de brûlis sur les valeurs édaphiques des jachères tous âges confondus, pour les sols argileux et sablonneux aux horizons 0-5 et 20-25 cm confondus

| | Argileux (n = 12) | | | Sablonneux (n = 7) | |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Nb feux | Moyenne écart type | Coefficient de variation (%) | Moyenne écart type | Coefficient de variation (%) |
| Densité | 1 > 5 | 1,35 ± 0,18 1,44 ± 0,12 | 7 | 1,41 ± 0,10 1,33 ± 0,06 | - 6 |
| %C | 1 > 5 | 1,39 ± 1,07 1,32 ± 1,06 | - 5 | 1,08 ± 0,61 0,86 ± 0,55 | - 20 |
| % N | 1 > 5 | 0,12 ± 0,08 0,12 ± 0,08 | 2 | 0,08 ± 0,04 0,07 ± 0,04 | - 18 |
| NH₄ μmol/g | 1 > 5 | 0,49 ± 0,44 0,47 ± 0,35 | 4 | 0,38 ± 0,38 0,21 ± 0,10 | - 46 |
| NO₃ μmol/g | 1 > 5 | 0,42 ± 0,40 0,19 ± 0,23 | - 55 | 0,39 ± 0,44 0,07 ± 0,03 | - 81 |
| pH | 1 > 5 | 4,8 ± 0,61 5,2 ± 0,5 | 9 | 5,0 ± 0,55 5,1 ± 0,26 | 2 |
| Ca cmol/kg | 1 > 5 | 0,54 ± 1,28 0,84 ± 1,51 | 55 | 0,25 ± 0,53 0,20 ± 0,27 | - 18 |
| Mg cmol/kg | 1 > 5 | 0,32 ± 0,52 0,54 ± 0,73 | 71 | 0,10 ± 0,16 0,06 ± 0,06 | - 46 |
| K cmol/kg | 1 > 5 | 0,08 ± 0,06 0,14 ± 0,12 | 83 | 0,05 ± 0,04 0,07 ± 0,03 | 44 |
| Papa μmol/g | 1 > 5 | 0,26 ± 0,22 0,17 ± 0,09 | - 34 | 0,08 ± 0,06 0,04 ± 0,02 | - 54 |
| Porg μmol/g | 1 > 5 | 4,79 ± 3,73 4,97 ± 2,80 | 4 | 1,64 ± 1,18 0,49 ± 0,13 | - 70 |
| Pexe μmol/g | 1 > 5 | 0,04 ± 0,04 0,04 ± 0,05 | 0 | 0,04 ± 0,03 0,03 ± 0,01 | - 35 |
| Pcdb μmol/g | 1 > 5 | 1,30 ± 1,33 0,89 ± 1,05 | - 31 | 0,24 ± 0,24 3*10 ⁻⁵ | -99 |
| Hg total ng/g | 1 > 5 | 119 ± 45 78 ± 18 | - 34 | 82 ± 31 49 ± 17 | - 41 |
| Hg pf ng/g | 1 > 5 | 156 ± 61 99 ± 15 | - 37 | 221 ± 43 104 ± 28 | - 53 |
| Hg pg ng/g | 1 > 5 | 45 ± 33 49 ± 28 | 10 | 13 ± 6 80 ± 24 | 532 |

Coefficient de variation = $\frac{(\text{valeurs } \geq 5 \text{ brûlis}) - (\text{valeurs de 1 brûlis})}{\text{valeurs de 1 brûlis}} \times 100$

* Les différences significatives au seuil de 0.05 avec le test de Wilcoxon, entre 1 brûlis et 5 brûlis et plus, sont exprimées en caractères gras.

Tableau 1.4 : Position des variables édaphiques dans la CA selon les 4 axes

| | Axe 1 | Axe 2 | Axe 3 | Axe 4 |
|-----------------------------|-------|-------|-------------|-------|
| % particules grossières | -0,86 | 0,12 | 0,92 | -0,64 |
| % particules fines | 0,84 | -0,72 | 0,29 | 0,01 |
| Hg particules grossières | 1,22 | 1,01 | 0,10 | -0,02 |
| Hg particules fines | -0,42 | 0,12 | -0,10 | 0,17 |
| Hg total | 0,20 | -0,33 | -0,35 | -0,15 |
| Densité | 0,11 | -0,14 | 0,46 | 0,11 |
| NO ₃ | -0,20 | -0,48 | 0,83 | -0,89 |
| NH ₄ | 0,45 | -0,27 | 0,20 | 0,56 |
| Ca | 0,86 | -1,56 | 4,20 | 4,37 |
| K | 0,81 | -0,50 | 1,76 | 1,17 |
| Mg | 0,91 | -1,29 | 3,34 | 3,06 |
| % N | 0,34 | -0,37 | 1,36 | 0,66 |
| % C | 0,27 | -0,29 | 1,38 | 0,76 |
| Pexe | -0,01 | -0,34 | 2,13 | 1,12 |
| Papa | 0,96 | -0,23 | 1,28 | -0,34 |
| Porg | 1,05 | -0,16 | 0,43 | -0,55 |
| Pcdb | 1,24 | -0,17 | 1,36 | -0,66 |
| 1 brûlis argileux | 0,26 | -0,16 | 0,02 | -0,10 |
| 1 brûlis sablonneux | -0,65 | 0,13 | 0,19 | -0,04 |
| 2-4 brûlis argileux | 0,24 | -0,30 | 0,12 | -0,06 |
| 2-4 brûlis sablonneux | -0,65 | 0,16 | -0,20 | 0,19 |
| 5 brûlis et plus argileux | 0,71 | -0,23 | 0,20 | 0,30 |
| 5 brûlis et plus sablonneux | 0,84 | 1,52 | -0,12 | 0,54 |

* Les variables fortement distribuées sur l'axe 3 sont en caractère gras.

CHAPITRE II

Caractérisation des activités d'extractivisme en jachère forestière naturelle par les petits agriculteurs de la région du Rio Tapajós, en Amazonie brésilienne

Patry, Cynthia¹, Davidson, Robert^{1, 2}, Lucotte, Marc¹

¹ Université du Québec à Montréal, GEOTOP, CP 8888, Succ. Centre-Ville, Montréal, Canada, H3C 3P8, ² Biodôme de Montréal, Canada

Ce chapitre sera soumis pour publication dans Amazonica Acta

Résumé

Le présent projet de recherche s'est déroulé dans la région du Rio Tapajós, un front pionnier très actif de l'état du Pará, en Amazonie brésilienne. L'objectif était de mieux comprendre l'usage que les agriculteurs font de leurs forêts secondaires quant aux espèces qu'ils y récoltent et chassent en comparaison avec les forêts primaires, ainsi que de déterminer s'ils plantent en jachère. Pour ce faire, six communautés des abords du Rio Tapajós ont été visitées. Un total de 25 agriculteurs a répondu à un questionnaire portant sur l'utilisation des ressources de leurs jachères et de leurs forêts primaires. L'âge des jachères variait de 1 à 30 ans. L'étude révèle un fort potentiel pour l'extractivisme dans ces forêts, car 80 espèces fournissant du bois, des produits médicinaux, des fruits et noix et des animaux ont été mentionnées par les agriculteurs. Bien que l'activité de récolte ait été plus intense en forêt primaire, une cinquantaine d'espèces était également ou exclusivement mentionnée en jachères forestières. Chacune des espèces végétales était dans l'ensemble rarement utilisée par plus de 20% des agriculteurs, sauf le lacre (*Vismia* spp.), la castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*) et le sucúba (*Himatanthus sucuuba*) en jachère forestière et la castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), le uxi (*Endopleura uchi*), l'açaí (*Euterpe oleracea*), le piquiá (*Caryocar villosum*), le tucumã (*Astrocaryum vulgare*), le preciosa (*Aniba canellila*), le copaíba-marimari (*Copaifera reticulata*) et le itaúba (*Mezilaurus itauba*) en forêt primaire. De plus, certains facteurs comme la petite taille des forêts, possiblement limitée par la présence de routes, et le jeune âge des jachères ont semblé avoir un effet négatif sur l'intensité des pratiques extractivistes en général. La chasse pour sa part était pratiquée par presque tous les agriculteurs, dans les deux types forestiers et sur sensiblement les mêmes trois espèces, soit le veado (*Mazama* spp.), le paca (*Agouti paca*) et le tatu (*Dasypus* spp.). La moitié des agriculteurs ont également planté au total une vingtaine d'espèces d'arbres dans les jachères. Les jachères semblent donc constituer pour les agriculteurs un milieu potentiellement intéressant afin de diversifier leur alimentation, contribuer à un revenu d'appoint et leur procurer des plantes médicinales, à l'instar des forêts primaires.

Mots clés : Extractivisme, jachère forestière, Amazonie, petits agriculteurs

1. Introduction

Depuis plus de 7 000 à 8 000 ans, les humains occupent le bassin amazonien dont ils exploitaient les ressources forestières de façon durable (Roosevelt *et coll.*, 1991 et Wiersum, 1997). Mais, suite à une immigration massive amorcée par la construction de la route transamazonienne, l'exploitation de l'Amazonie s'est révélée être dorénavant une activité prédatrice de l'environnement (Fearnside, 2005), conduisant à des problèmes environnementaux graves aux incidences planétaires tels l'effritement de la biodiversité, l'émission de grandes quantités de CO₂ et l'altération du cycle de l'eau. Cette pression démographique grandissante (au-delà d'un million de colons) et le désir de souveraineté du gouvernement brésilien sur l'Amazonie sont principalement à l'origine de ce changement de situation (Browder, Pedlowski et Summers, 2004 et Sydenstricker-Neto, 2005). Plusieurs acteurs sont responsables du déboisement de maintenant plus de 15% du couvert forestier original en Amazonie (FAO, 2003), comme les compagnies forestières, les grands producteurs de soya, les éleveurs de bétail et les petits agriculteurs (Fearnside, 2005). Depuis 25 ans, ces deux derniers exploitants sont responsables de la transformation de 500 000 km² de forêt primaire en terres cultivées (Zarin *et coll.*, 2005) qui pour la plupart seront éventuellement abandonnées à la végétation secondaire au bout de quelques années (Davidson *et coll.*, 2004). En un peu plus de vingt ans, soit de 1978 à 2002, la végétation secondaire du bassin amazonien est passée de 29 000 km² à 161 000 km². Elle est présentement âgée d'à peine 5 ans en moyenne (Neeff *et coll.*, 2006). L'agriculture sur brûlis représente l'une des principales causes du déboisement après les grands éleveurs de bétail (Fearnside, 2005). Elle consiste à abattre la forêt et à brûler les résidus à chaque nouveau cycle de culture, afin de permettre une fertilisation temporaire du sol par les cendres. Toutefois, après quelques cycles de culture, les sols sont généralement épuisés et les terres sont laissées en jachère pour permettre au sol de récupérer une partie de sa fertilité. Les jachères forestières deviennent par le fait même plus présentes sur le territoire à chaque année (Baar *et coll.*, 2004; Carim, Schwartz et da Silva, 2007 ; Léna, 1992 et Salas, 2001), principalement dans les zones de fronts pionniers, tel que celui du Rio Tapajós où l'étude s'est déroulée, dans l'état du Pará (Farella *et coll.*, 2007). Farella (2005), qui a travaillé dans cette même région, a déterminé que chacune des familles était responsable de la conversion

d'un hectare de forêt primaire par année et que les jachères étaient elles-mêmes recoupées et rebrûlées après généralement à peine 3.5 années. Ainsi, plusieurs recherches récentes observent une baisse marquée dans la longévité des jachères, principalement causée par la pression grandissante due à l'accroissement de la population (Farella, 2005; Fearnside 2000; Place et Dewees, 1999; Sydenstricker-Neto, 2005 et Szott, Palm et Buresh, 1999).

La jachère représente une couverture végétale essentielle d'abord en raison de sa capacité à restaurer les sols appauvris par l'agriculture sur brûlis. Elle a ainsi la capacité d'améliorer naturellement la condition physique du sol (Ashton et Montagnini, 2000; Olivier, Nijiti et Harmand, 2000 et Salako *et coll.*, 2001), de restaurer une partie de la fertilité originale (Farella *et coll.*, 2007; Gehring *et coll.*, 2005; Hölscher *et coll.*, 1997; Schroth *et coll.*, 1999; Smith *et coll.*, 1999 et Szott, Palm et Buresh, 1999) et de constituer un puits de carbone (Fearnside, 2000 et Mutuo *et coll.*, 2005). Par ailleurs, elle joue un rôle tout aussi important dans le maintien d'une certaine biodiversité locale (Carim, Schwartz et da Silva, 2006; Diemont *et coll.*, 2006; Fearnside, 1999 et Penã-Carlos, 2003). Baar et collègues (2004) qui travaillent dans la région de Bragantina près de Belém, ont répertorié plus de 670 espèces végétales dans des jachères âgées de 4 mois à 10 ans. Cette biodiversité est traditionnellement exploitée par la majorité des peuples autochtones qui utilisent depuis des siècles une foule de produits de leurs jachères et forêts primaires, telles des plantes médicinales, des fruits, du bois et des animaux (Ashton et Montagnini, 2000; Diemont *et coll.*, 2006; Hanazaki *et coll.*, 2000; Schulz, Becker et Götsch, 1994; Toledo et Salick, 2006 et Wiersum, 1997). L'utilisation des produits de la jachère naturelle, mais également de la forêt primaire, par les petits agriculteurs de la colonisation récente est peu documentée, les connaissances qui concernent les produits extraits des forêts provenant plutôt d'études portant sur les peuples autochtones. Il est pourtant nécessaire de détenir des informations sur les produits qu'utilisent et connaissent les petits agriculteurs de leurs forêts afin d'intégrer éventuellement ce savoir traditionnel dans l'élaboration de systèmes cultureux plus durables qui font plus de place à des essences ligneuses, tel que l'agroforesterie. Selon plusieurs auteurs, l'agroforesterie est une alternative intéressante pour stabiliser le milieu, améliorer la qualité de l'environnement et potentiellement générer des revenus (Browder, Wynne et Pedlowski, 2005; Leakey^A, 1999; Diemont *et coll.*, 2006; Leakey^B, 1999; Place et Dewees, 1999; Smith *et coll.*, 1996;

Swallow, Russell et Fay, 2006). De plus, au-delà de l'extractivisme des ressources, on connaît encore mal les plantations que les petits agriculteurs font dans leurs jachères. L'objectif de cette étude est de documenter les espèces animales chassées et les végétaux récoltés par les petits agriculteurs dans leurs jachères naturelles, en comparaison avec l'utilisation qu'ils font de leurs forêts primaires, en plus de déterminer si ces mêmes agriculteurs plantent des arbres dans leurs jachères. Une meilleure connaissance de l'éventail des produits végétaux et animaux extraits des jachères peut contribuer à valoriser cette occupation du territoire, en s'appuyant sur l'utilisation de la biodiversité naturellement présente dans les jachères. Ainsi que favoriser l'emploi d'espèces déjà utilisées par l'agriculture familiale de l'Amazonie brésilienne dans des systèmes culturels plus durables.

2. Méthodologie

2.1 Sites d'étude et échantillonnage

L'étude a été réalisée dans six communautés des abords du Rio Tapajós, dans l'État du Pará, en Amazonie brésilienne, soit Açaituba, Santo Antonio, Nova Canãa, São Luíz do Tapajós, Mussum et Vista Alegre. Les deux dernières communautés ont été considérées comme une seule entité, étant donné leur proximité. Ces communautés du bassin amazonien, réparties entre les municipalités de Aveiro et de Itaituba, sont situées dans un segment de 150 km (03°40' à 04°28' S : 55°21' à 56°16' O), bordé au sud par le bouclier centre-brésilien et à l'est par la route transamazonienne (figure 1.1). La présence de cette route a joué un grand rôle dans le déboisement de cette grande région (Chomitz et Thomas, 2000). Toutefois, seules les communautés de Nova Canãa et de São Luíz do Tapajós sont accessibles directement par cette route. Au point de vue géologique, les sols du plateau ont été formés à partir des sédiments quartzo-kaolinitique du Crétacé provenant de la formation Alter do Chão (Roulet *et coll.*, 1998 et Sioli, 1984). Les sols principalement retrouvés sont les Oxisols (> 40% particules fines) et les Ultisols (< 40% particules fines) (Soil Survey Staff, 1999), selon la classification américaine (USDA), qui correspondent respectivement aux Latossolos (Buol et

Eswaran, 2000) et aux Argilossolos de la classification brésilienne (Embrapa Amazônia Oriental, 2007). Ces types de sols sont caractérisés par une fertilité précaire qui s'illustre par de faibles teneurs en Ca, Mg, K et P. L'agriculture est tout de même praticable sur de tels sols après un brûlis, mais pour quelques années seulement, puis les sols s'épuisent rapidement (Buol et Eswaran, 2000). C'est en effet une des principales causes du déboisement accéléré de la forêt, car de nouvelles terres sont constamment défrichées pour palier à la perte rapide de la fertilité des sols défrichés quelques années auparavant. Dans la région d'étude, la forêt tropicale humide est caractérisée par une période de sécheresse annuelle de 3 à 4 mois (Cochrane et Sanchez, 1982), et l'agriculture sur brûlis consiste généralement à produire du riz (*Oryza sativa* L.), du manioc (*Manihot esculenta* Crantz), des fèves (*Phaseolus vulgaris* L.) et des bananes (*Musa* spp.) (Farella et coll., 2007).

En septembre 2006, 25 agriculteurs ont été approchés au total, soit 5 par communauté, pour répondre à un questionnaire concernant l'utilisation qu'ils faisaient de leurs forêts primaires et d'une de leurs jachères, ainsi que pour établir leur profil sociologique et la description de leur lot. Ils ont été sélectionnés d'abord sur la base de leur désir de participer à cette recherche, puis en fonction de l'âge de leur jachère. En effet, dans chacune des communautés, cinq classes d'âge de jachère étaient recherchées (1-2, 3-4, 5-8, 10-15 et ≥ 20 ans). Il était important que les jachères de chaque communauté reflètent toutes ces classes d'âge. Seule la communauté de São Luiz do Tapajós n'a pu inclure ces 5 classes, car il y manquait une jachère de plus de 20 ans.

De plus, le DHP (diamètre à hauteur de poitrine) moyen a été calculé en compilant les DHP de chacun des arbres excédant 5cm (Toledo et Salick, 2006) dans trois quadrats de 100 m³ pour chacune des 25 jachères, et la hauteur moyenne de la jachère de chaque quadrat a été évaluée à l'aide d'un clinomètre. Une distance d'environ 10 m séparait chacun des trois quadrats. Les valeurs de DHP moyen et de hauteur moyenne ont servi à valider l'âge des jachères mentionné par les agriculteurs. Lorsque l'âge ne correspondait pas aux moyennes de DHP et de hauteur de l'étude de Metzger (2002), qui a travaillé dans la région de Belém sur des jachères de différents âges, le site était automatiquement rejeté. Moran et collègues

(2000), qui avaient également travaillé dans l'état du Pará sur les forêts secondaires, ont des résultats similaires. Seul un site a été rejeté en suivant ces critères.

2. 2 Identification des espèces

L'identification des espèces a été réalisée à partir des noms communs mentionnés par les agriculteurs dans les questionnaires. Quand un nom commun pouvait correspondre à plusieurs espèces ou même à d'autres genres, des identifications alternatives ont été proposées dans cet article. Outre les éléments de classification botanique, les végétaux mentionnés ont été séparés en deux groupes, ceux récoltés par extractivisme et ceux, moins nombreux, qui étaient plantés en milieu forestier. Dans chaque cas, le type de forêt, primaire ou secondaire, où était récoltée ou plantée l'espèce, a été mentionné. Les végétaux extraits des forêts ont été triés par catégorie (fruits/noix, plantes médicinales, bois). Les utilisations des espèces mentionnées par les agriculteurs ont également été consignées, aucun commentaire n'était ajouté quand les agriculteurs ne spécifiaient pas eux-même l'utilisation. Toutes ces informations ont servi à produire les tableaux 2.1 et 2.2. Enfin, les espèces animales chassées ont été également présentées dans ce tableau en fonction du type de forêt. L'identification scientifique a été réalisée en s'appuyant sur deux ouvrages de références principaux, soit Shanley, Cymeris et Galvão (1998) et Shanley et Medina (2005). Le logiciel Kaléidographe 3.5 (Synergie Software, 2000) a été utilisé pour réaliser les graphiques qui facilitent l'analyse descriptive des résultats. Le recours au logiciel JMP 5.1 (SAS Institut, 2003) a également été nécessaire pour réaliser une corrélation de Spearman's Rho.

3. Résultats

3.1 Description générale des exploitations agricoles

Les résultats concernant la description des lots agricoles ainsi que de la taille et de la localisation des forêts primaires et des jachères sur ces derniers étaient présentés dans le tableau 2.3. Les forêts primaires et secondaires détenues par les agriculteurs des communautés de Açaituba, Santo Antonio, Nova Canãa et São Luíz do Tapajós sont en moyenne à 600 et 800m respectivement de la demeure familiale, mis à part dans la communauté de Mussum/Vista Alegre où les agriculteurs parcouraient en moyenne près de 6km, aller-retour, par jour pour s'y rendre et revenir à leur maison, près du Rio Tapajós. Les lots, qui représentent l'ensemble de la propriété (terres cultivées, pâturages, forêts primaires et secondaires) étaient généralement assez grands, chaque famille disposant de plus au moins 70ha. Les superficies variaient tout de même de 4.25ha à 120ha selon les propriétés. Plus de la moitié des lots, soit 13 d'entre eux, étaient équivalents ou supérieurs à 100ha, et ils étaient alors répartis dans les communautés de Santo Antonio, Açaituba et Mussum /Vista Alegre. La communauté de Nova Canãa possédaient dans l'ensemble de plus petits lots d'environ 35ha chacun. Dans cette communauté, la taille des forêts primaires étaient également réduite en moyenne à 18ha par lot, alors que la moyenne régionale de cette étude était plutôt de 47ha. De plus, l'un des agriculteurs de Nova Canãa n'en possédait pas, tout comme un des agriculteurs de São Luíz do Tapajós. Cette dernière communauté avait également dans l'ensemble de plus petites forêts primaires. Au contraire, certaines communautés, telles que Açaituba et Mussum Vista Alegre, disposaient en moyenne de forêts primaires plus grandes que la moyenne régionale, respectivement de 51ha et 65ha par lot. Pour leur part, les jachères étaient généralement de plus petites tailles, soit en moyenne de 4ha. Dix des vingt-cinq jachères échantillonnées couvraient 1ha et moins. La communauté de Santo Antonio se caractérisait par des jachères relativement grandes comparativement aux autres communautés. À plusieurs reprises, les agriculteurs ont souligné posséder plus d'une jachère, d'âges généralement variables.

3.2 Pratiques extractivistes

3.2.1 Caractérisation en fonction des communautés

Une différence marquée existait entre les communautés quant au nombre et à la provenance des espèces récoltées et chassées (figure 2.3). En effet, les agriculteurs de la communauté de São Luíz do Tapajós utilisaient très peu leurs forêts primaires (6 espèces au total) et encore moins leurs jachères (3 espèces au total) comparativement aux autres communautés. Suivaient les agriculteurs de la communauté de Nova Canãa, qui utilisaient une vingtaine d'espèces dans leurs forêts primaires et une quinzaine d'espèces tirées de leurs jachères. Les agriculteurs d'Açaituba utilisaient également une quinzaine d'espèces de leurs jachères, mais un peu plus de 25 espèces en forêt primaire, tout comme à Santo Antonio. Dans cette dernière communauté, les agriculteurs utilisaient par contre 21 espèces en jachère. Et finalement, loin devant, les agriculteurs de la communauté de Mussum/Vista Alegre ont mentionné utiliser 42 espèces différentes au total dans leurs forêts primaires et 27 espèces en jachère.

3.2.2 Caractérisation en fonction du type de forêt

Les agriculteurs ont mentionné chasser et récolter un total de 80 espèces différentes dans leurs forêts primaires et leurs jachères (tableau 2.1). De ce total, 61 espèces provenaient de leurs forêts primaires et 49 espèces de leurs jachères. En moyenne les agriculteurs utilisaient 5 espèces de leurs jachères et le double, soit 10 espèces de leurs forêts primaires. Certaines espèces, au nombre de 29, étaient communes aux deux types de forêt, tandis que 32 espèces étaient exclusivement mentionnées dans les forêts primaires et 20 espèces uniquement dans les jachères. Plusieurs des espèces mentionnées seulement en forêt primaire étaient des espèces animales, telles l'arara (*Ara* spp.), le jaguatirica (*Leopardus pardalis*), la onça-pintada (*Panthera onça*) et le porcão (*Tayassu pecari*). En outre, les espèces ligneuses prélevées pour leur bois appartenaient en général exclusivement à la forêt primaire (14

espèces) ou à la jachère (15 espèces). Seulement 5 espèces de bois étaient récoltées dans les deux types de forêt. Certaines espèces qui étaient récoltées pour leur bois en forêt primaire étaient présentes également dans la jachère, mais étaient alors plutôt récoltées pour leurs noix ou pour leur vertus médicinales, ce qui était le cas de l'andiroba (*Carapa guianensis*), de la castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*), de la preciosa (*Aniba canellila*) et du copaiba-marimari (*Copaifera reticulata*).

Bien qu'un grand nombre d'espèces aient été mentionnées en jachère, les forêts primaires étaient le lieu d'une extraction deux fois plus fréquente pour toutes les catégories végétales car elles contenaient certaines espèces très prisées qui étaient récoltées par plusieurs agriculteurs, telles la castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*), le uxi (*Endopleura uchi*), l'açaí (*Euterpe oleracea*), le piquiá (*Caryocar villosum*), le tucumã (*Astrocaryum vulgare*), la preciosa (*Aniba canellila*), le itaúba (*Mezilaurus itauba*) et le Copaíba-marimari (*Copaifera reticulata*). En jachère, les espèces étaient rarement utilisées par plus de deux agriculteurs, hormis le lacre (*Vismia spp.*), la castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*) et la sucuúba (*Himathanthus sucuuba*) qui ont été mentionnées par plus de cinq agriculteurs. Plus de 80% des agriculteurs chassaient ce qui révèle une activité extractiviste importante. Les espèces animales les plus communément chassées, soit le veado (*Mazama spp.*), le paca (*Agouti paca*) et le tatu (*Dasypus spp.*), l'étaient autant en forêt primaire que dans les jachères. Plus de la moitié des agriculteurs dans les deux types de forêts chassaient ces 3 espèces.

De plus, le nombre d'espèces exploitées dans les jachères augmentait significativement avec l'âge de ces dernières, selon la corrélation de Spearman's Rho ($r = 0.623$, $p = 0.0215$) (figure 2.2). Il était étonnant de constater que les jachères d'à peine un an avaient déjà un potentiel de récolte de 9 espèces. Plus d'une dizaine d'espèces pouvaient être récoltées au-delà de 6 ans et jusqu'à 34 espèces dans celles de plus de 25 ans. Mais les jachères de même âge n'étaient pas exploitées par tous avec la même intensité. Par exemple, dans l'une des jachères de 15 ans, 10 espèces étaient utilisées alors qu'aucun produit n'était retiré de l'autre. Au total, 6 agriculteurs ont mentionné ne pas utiliser les produits de leurs jachères, celles-ci étant âgées de 1, 3, 8 et 15 ans.

3.2.3 Caractérisation par catégorie de produit

Lorsque le nombre d'espèces était réparti par catégorie, il était possible de constater que la catégorie bois était celle contenant le plus d'espèces dans les deux types de forêt (29% des espèces en forêt primaire et 41% en jachère) (figure 2.5). Les agriculteurs ont affirmé utiliser les arbres principalement pour en faire de bois de combustion et dans une moindre mesure des matériaux de construction et du charbon de bois. En forêt primaire, les espèces de plantes médicinales et les espèces animales équivalaient dans chaque cas à un peu plus du quart. Dans les jachères, il y avait légèrement plus d'espèces récoltées dans la catégorie animale (25%) que dans celle des plantes médicinales (18%). Finalement, la catégorie regroupant le moins d'espèces était celle des fruits et noix, représentant 17 % et 16 % en forêt primaire et en jachère respectivement. De plus, quatre agriculteurs ont mentionné récolter du miel en forêt primaire et deux en jachère. Mis à part pour la catégorie du bois, le nombre d'espèces récoltées par catégorie était plus élevé en forêt primaire, la catégorie des plantes médicinales étant la plus contrastée avec un peu moins du double des espèces en forêt primaire.

L'examen de la fréquence relative d'utilisation de chacune des catégories a révélé que la catégorie animale était la plus mentionnée avec 39% en forêt primaire et 47% en jachère. Suivaient en moindre importance la catégorie fruits et noix récoltée en forêt primaire (25%) et la catégorie bois en jachère (28%). Les autres catégories étaient récoltées avec une fréquence équivalente de $\pm 18\%$ chacune en forêt primaire (plantes médicinales et bois) et 14% et 11% en jachère, pour les plantes médicinales et fruits/noix respectivement (figure 2.4).

3.3 Plantations en jachères

Une vingtaine d'espèces de végétaux ont été plantées dans les différentes jachères (tableau 2.2). Cette pratique n'était toutefois pas répandue à l'ensemble des agriculteurs. Moins de la moitié des agriculteurs, soit neuf d'entre eux, pratiquaient la plantation d'arbres,

qui se limitaient à deux espèces en moyenne, variable selon l'agriculteur. Un des agriculteurs de la communauté de Nova Canãa a toutefois spécifié avoir planté onze espèces d'arbres fruitiers dans sa jachère. Les raisons les plus fréquentes invoquées pour la plantation d'espèces en jachère forestière étaient essentiellement reliées à la consommation des fruits et à la vente de bois. Aucun agriculteur n'a fait référence à l'amélioration des propriétés du sol par les végétaux plantés. Plus de la moitié des espèces plantées, soit 14 des 20 espèces, n'avait pas été mentionnée comme espèces récoltées dans les jachères naturelles de cette étude. Cependant, certaines espèces plantées en jachères étaient également retrouvées en forêt primaire, telles le caju (*Anacardium occidentale*), le lacre (*Vismia* spp.) et le piquiá (*Caryocar villosum*).

3.4 Profil sociologique des agriculteurs

Les résultats concernant le profil sociologique de chacun des agriculteurs sont réunis dans le tableau 2.3 qui a été élaboré à partir des réponses fournies par les agriculteurs dans les questionnaires. Les agriculteurs étaient principalement des hommes, hormis une femme. Âgés entre 28 et 63 ans, ils étaient très peu scolarisés, avec une moyenne de quatre ans d'étude. Tous mariés, sauf un, ils pratiquaient tous une religion : 80% Catholique, 12% Évangélique et 8% de l'Assemblée de Dieu. Les hommes étaient des pères de familles nombreuses, avec en moyenne cinq enfants. Parmi celles-ci, trois familles comptaient plus de 10 enfants. Les enfants participaient aux tâches agricoles dans la moitié des cas (48%), ainsi que la femme pour 88% des familles. Certains agriculteurs (36%) avaient recours aux services d'autres personnes (1 à 4) qui n'étaient pas de la famille immédiate pour les aider aux tâches agricoles. La force de travail pour chacune des exploitations agricoles variait donc d'une personne (l'agriculteur) à 10 personnes, la moyenne étant de 4 personnes, incluant l'agriculteur propriétaire. Les agriculteurs ciblés par l'étude (68%), ainsi que leurs femmes (72%), étaient issus pour la plupart de l'état du Pará où se déroulait l'étude, sinon des états du Maranhão, du Piauí et du Mato Grosso. Leurs parents et leurs grands-parents pour leur part provenaient d'horizons plus divers : 3 états du bassin amazonien : Pará ($\pm 30\%$), Mato Grosso et Amazonas et de certains états nordestins tels le Maranhão, le Piauí, le Ceará et le

Pernambuco, ainsi que de l'état de Goiás. Seulement trois agriculteurs étaient nés sur le lot qu'ils occupaient lors de la visite, la majorité provenant des villes et villages environnants. Toutefois, huit agriculteurs occupaient leur lot depuis plus de trente ans, la moyenne étant de 18 années d'occupation.

3.5 Influence des facteurs sociologiques sur l'utilisation des forêts des exploitations agricoles

Afin de déterminer si un des facteurs sociologiques pris en compte dans cette étude influençait davantage les résultats quant à l'utilisation des forêts secondaires et primaires présentes sur leurs lots, les agriculteurs ont été séparés en quatre groupes selon l'intensité d'utilisation de leur jachère et de leur forêt primaire. Le premier groupe, qui était constitué des faibles utilisateurs des forêts secondaires, représentant l'utilisation de moins de 5 espèces de leurs forêts, rassemblait 8 agriculteurs. Ce groupe utilisait par contre beaucoup leurs forêts primaires avec une moyenne de 13 espèces. Le deuxième groupe, qui ne comptait que 2 agriculteurs, était constitué des faibles utilisateurs des forêts primaires. Parmi eux, l'un ne possédait pas de forêt primaire et utilisait intensément sa jachère (25 espèces) et l'autre possédait une forêt primaire d'à peine 2ha située à plus de 1.8km. Le troisième groupe pour sa part, qui était constitué des faibles utilisateurs des deux types de forêt, comptait 7 agriculteurs, principalement issus de la communauté de São Luiz do Tapajós. Finalement le dernier groupe, qui comptait 8 agriculteurs, était constitué des grands utilisateurs des deux types de forêt. L'âge des agriculteurs, leur religion, leur niveau de scolarité, le nombre d'enfants, ainsi que leur origine et celle de leurs parents étaient assez semblables entre les groupes. De plus, la force de travail, représentée par le labeur de l'agriculteur, de certains de ses enfants, de sa femme et éventuellement d'employés, était également assez semblable entre les groupes. Ainsi, pas un seul facteur caractérisant le profil sociologique des agriculteurs n'a pu expliquer mieux qu'un autre l'intensité de l'utilisation des jachères et/ou des forêts primaires de leurs exploitations (tableau 2.3).

4. Discussion

Les petits agriculteurs de la région du Tapajós utilisent un grand nombre d'espèces végétales et animales récoltées et chassées dans les forêts. On a aussi pu constater qu'un nombre d'espèces à peine plus faible en forêt secondaire qu'en forêt primaire ont été exploitées. Généralement, le recours aux jachères est plutôt motivé par la nécessité de laisser la terre au repos et non de pratiquer l'extractivisme (Smith et coll., 1999). Ainsi, en dépit du fait que la grande majorité des agriculteurs a effectivement mentionné utiliser la jachère principalement pour améliorer la fertilité du sol, afin d'optimiser les récoltes futures, on observe dans les jachères un potentiel non négligeable pour l'extractivisme végétal et animal par ces communautés non autochtones à l'étude. Bien que les connaissances concernant les espèces forestières soient beaucoup plus limitées dans ces communautés que chez les autochtones, l'extractivisme est tout de même pratiqué sur un nombre non négligeable de 80 espèces incluant jachères et forêts primaires. Selon l'étude de Toledo et Salick (2006) jusqu'à 123 espèces différentes de plantes utilisées dans les jachères ont déjà été dénombrées. Selon les agriculteurs de notre étude, une jachère aussi jeune qu'un an peut potentiellement déjà fournir 9 espèces utiles (végétales + animales). De plus, ce potentiel s'accroît avec l'âge de la jachère. En effet, un des agriculteurs a affirmé extraire jusqu'à 25 espèces de sa jachère de 26 ans, ce qui laisse supposer que les forêts secondaires retrouvent avec le temps une diversité floristique et animale non négligeable. Cette progression dans la diversification des jachères a aussi été vérifiée par l'étude de Toledo et Salick (2006) qui travaillent avec les autochtones Gwarayos. Ces derniers soulignaient également une utilisation importante des jeunes jachères, tout comme l'étude de Denevan et Treacy (1987) qui étudiaient les Indiens Runa en Équateur. Puisque la biodiversité des jachères augmente avec le temps (Carim, Schwartz et da Silva, 2007; Penã-Carlos, 2003; Moran et coll., 2000; Triola, Chareyre et Buttler, 1998), l'âge de la forêt semble donc jouer un rôle déterminant dans les espèces qui y sont extraites. Certaines espèces qui évoluent dans des milieux aux conditions plus spécifiques sont retrouvées seulement dans de jeunes jachères, car elles ont besoin de beaucoup de lumière (Poorter, 1999), tel le lacre (*Vismia* spp.) (Uhl, 1987). Les forêts primaires, qui ont servi de témoin, comptaient également certaines espèces qui leur étaient propres, telles que le porcão (*Tayassu pecari*) et l'arara (*Ara* spp.) (Shanley et Medina, 2005).

Malgré le grand nombre d'espèces mentionné en jachères pour l'extractivisme, leur exploitation était dans certains cas très faible voir nulle. En effet, six des vingt-cinq agriculteurs de cette étude n'utilisaient aucun produit de leur jachère, même si deux d'entre elles étaient âgées de 8 et 15 ans. Rarement une même espèce poussant en jachère était utilisée par plus de 2 agriculteurs, ce qui conduit à un nombre moyen d'espèces extraites deux fois plus faible qu'en forêt primaire où plusieurs espèces étaient récoltées par un grand nombre d'agriculteurs. Il est très difficile de déterminer les causes qui favorisent ou non l'utilisation des jachères, mais il ne faut toutefois pas oublier que certaines jachères ont une faible diversité naturelle qui peut être attribuable à une fertilité du sol déficiente, à leur disposition géographique qui les isole des semenciers des forêts primaires (Moran *et coll.*, 2000) ou encore à une succession végétale défavorable à la diversification, comme lorsque envahies par les plantes grimpantes. Ce phénomène a été rapporté par les agriculteurs rencontrés et observé sur le terrain. La faible récolte dans certaines forêts secondaires peut également être expliquée par un manque d'intérêt des agriculteurs face aux produits de la forêt qui ne sont pas dans l'ensemble indispensables à la famille.

Même si le nombre d'espèces des jachères exploitées pour leur bois était similaire à celui des forêts primaires, les espèces récoltées dans les deux milieux différaient considérablement. Cette différence peut être attribuée à une différence au niveau de la composition floristique de la strate arboricole qui persiste assez longtemps dans les jachères, les arbres des forêts secondaires ayant un cycle de vie tout de même assez long, contrairement à la strate arbustive qui change plus rapidement avec l'âge (Penã-Carlos, 2003 et Triola, Chareyre et Buttler, 1998). Uhl (1987) a également montré que seulement 7% des arbres des forêts secondaires de 5 ans étaient des espèces de forêt primaire dans une étude réalisée dans le bassin amazonien au Venezuela. Puis éventuellement, une diversité floristique finira par prévaloir avec l'âge des jachères.

4.1 Choix des espèces récoltées et chassées

Le bois est la catégorie qui possède la plus grande diversité spécifique de cette étude. Cependant, seules deux espèces étaient récoltées fréquemment pour cet usage, soit le lacre (*Vismia* spp.) et l'itaúba (*Mezilaurus itauba*). La majorité des autres espèces n'étaient mentionnées que par un ou deux agriculteurs, probablement parce que ces espèces sont naturellement très dispersées en forêt tropicale. Parfois, deux individus d'une même espèce peuvent être séparés par plusieurs km, ce qui fragilise la régénération naturelle de l'espèce lorsqu'un arbre est coupé et qu'il est le seul représentant de son espèce dans le milieu. Dans cette étude, l'extraction du bois est destinée principalement à la production de bois de combustion et dans une moindre mesure à la production de matériaux de construction et de charbon de bois. Le charbon de bois constitue pour la plupart des familles de petits agriculteurs la principale source d'énergie (Farella, 2005). Tandis que la vente du bois de combustion et des matériaux de construction représente des revenus considérables à long terme (Alegre *et coll.*, 2005; Browder, Wynne et Pedlowski, 2005; Ramadhani, Otsyina et Franzel, 2002; Schroth *et coll.*, 2002). Le bois de l'andiroba se vend par exemple 200 Reais (113\$ US) le mètre cube sur le marché local du Pará. Toutes les essences ne sont cependant pas aussi lucratives. Un arbre de mogno (acajou) par exemple, ne rapporte en moyenne que 40 Reais (22\$ US) à un agriculteur, alors qu'il se vend à plus de 30 000 Reais (17 000\$ US) sur le marché international (Shanley et Medina, 2005). De plus, quelques espèces récoltées pour leur bois qui ont été signalées ici, telles le morototó (*Didymopanax morototoni*), le jarana (*Holopyxidium* sp.), l'abiu (*Pouteria caimito*), l'andiroba (*Carapa guianensis*), le cedro (*Cedrela odorata*), le freijó (*Cordia goeldiana*) et l'ipê (*Tabebuia* spp.) peuvent être employées dans des projets agroforestiers en Amazonie, tel que rapportés par Browder, Wynne et Pedlowski (2005), Schulz, Becker et Götsch (1994) et Smith et collègues (1996).

La chasse est l'activité la plus pratiquée, bien plus que la récolte de bois, de fruits et de noix, et de plantes médicinales. La grande majorité des agriculteurs ont mentionné chasser dans leurs forêts primaires mais également dans leurs jachères, même celles d'à peine un an. Farella (2005) affirme de même que la moitié des agriculteurs de son étude, réalisée dans une

région plus circonscrite par rapport à cette étude, pratiquaient la chasse. Dans des communautés éloignées, cette activité pourrait être un bon moyen de se procurer une source complémentaire de protéine à peu de coûts, car toutes les familles ne possèdent pas de bétail ou encore n'investissent pas suffisamment de temps à la pêche. L'effort de chasse est toutefois concentré sur à peine quelques espèces. De plus, plusieurs espèces mentionnées dans les questionnaires correspondent potentiellement à des espèces menacées d'extinction selon la Liste Nationale des Espèces de la Faune Brésilienne Menacées d'Extinction au Pará, mise à jour en 2003 par le Ministère de l'Environnement brésilien (IBAMA, 2003), soit la onça-pintada (*Panthera onça*), la jaguatirica (*Leopardus pardalis*) et certaines espèces de mutum (*Crax* spp.), de jacamim (*Psophia* spp.) et d'arara (*Ara* spp.),

Vu l'isolement et le manque de médecins, la pharmacopée naturelle semble essentielle, car elle contribue à assurer un minimum de traitements pour des problèmes de santé en région éloignée. En effet, les communautés rencontrées sont dans le meilleur des cas à une heure de voiture d'un poste de santé (Nova Canãa) et dans la pire situation, à environ cinq heures de bateau ou 2h de marche (la colonia d'Açaituba). La grande diversité des plantes médicinales récoltées en forêt primaire témoigne du maintien des connaissances traditionnelles. Il est tout de même légitime de se demander si ce savoir va tendre à se dissiper avec l'effritement de la biodiversité et l'augmentation de l'accessibilité aux médicaments. Dans cette étude, on observe déjà une plus faible diversité des espèces récoltées en jachère. Il serait important de mettre en place des programmes pour maintenir ce savoir dans les communautés et par le fait même d'encourager éventuellement la conservation de parcelles de forêt primaire, ainsi que de faire la promotion des espèces utiles dans les jachères. Des initiatives comme celle du volume de Shanley et Medina (2005), un bel exemple de vulgarisation accessible pour les communautés, sont à encourager car elles constituent un bon moyen d'éducation relative à l'environnement. La preciosa (*Aniba canellila*), la copaiba-marimari (*Copaifera reticulata*) et la sucubá (*Himatanthus sucuuba*) étaient les espèces les plus souvent nommées par les agriculteurs. Certaines espèces de plante médicinale citées, telles le taperebá (*Spondias mombin*), le caju (*Anacardium occidentale*), le uxi (*Endopleura uchi*), l'andiroba (*Carapa guianensis*), la Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*) et le jatobá (*Hymenaea courbaril*) peuvent de plus être intégrées dans des projets agroforestiers amazoniens multi-usages

(Schulz, Becker et Götsh, 1994 et Smith *et coll.*, 1996) au-delà de leur importance au niveau de la pharmacopée locale.

La catégorie qui regroupe les fruits et les noix est la moins diversifiée en terme d'espèces, et ce, dans les deux types de forêt. Malgré cela, certaines espèces étaient utilisées par un grand nombre d'agriculteurs en forêt primaire, à l'instar de l'açaí (*Euterpe oleracea*), de la castanha do Pará (*Bertholletia excelsa* Huber. et Bondp.), du uxi (*Endopleura uchi*), du piquiá (*Caryocar villosum*) et du tucumã (*Astrocaryum vulgare*), contrairement à la situation en jachère où seulement un à deux agriculteurs utilisaient chacune des espèces. Smith et collègues (1996) ont également rapporté l'utilisation de ces espèces dans quelques 136 projets agroforestiers, tous situés en Amazonie brésilienne. Mis à part le tucumã, Farella (2005) souligne aussi l'utilisation de ces espèces par les agriculteurs de 3 communautés localisées dans la région de Brasília Legal. Dans cette étude, la récolte des fruits semble globalement destinée à la consommation par les familles et non à la vente, même dans les communautés accessibles par la route. Il est possible que l'éloignement des marchés ait joué un rôle à ce titre, car cette situation peut potentiellement limiter les opportunités de ventes (Scatena *et coll.*, 1996), les fruits étant périssables contrairement au bois ou aux plantes médicinales qui sont généralement séchées.

4.2 Facteurs sociologiques et géographiques affectant possiblement l'utilisation des espèces récoltées et chassées

Les résultats de cette étude ne permettent pas de mettre en relief un ou des facteurs sociologiques déterminants pouvant expliquer le choix d'utiliser ou non les produits des jachères et des forêts primaires, principalement dû au faible échantillonnage qui rend difficile l'établissement de relations solides. Peu d'études se sont attardées à comprendre les raisons qui motivent un agriculteur à utiliser sa forêt pour y extraire des produits. Classiquement, les études tentent de comprendre les dynamiques de la petite agriculture dans son ensemble, en identifiant des facteurs sociaux et leurs impacts sur le déboisement. Un des facteurs déterminants le plus fréquemment mentionnés par ces études est la force de travail, définie

par le nombre de personnes habilitées à travailler sur la terre. Le temps de séjour, ainsi que la provenance des agriculteurs, sont également souvent mentionnés (Browder, Pedlowski et Summers, 2004 ; Farella, 2005 ; Perz et Walker, 2002 ; Scatena et coll., 1996 ; Simmons, Walker et Wood, 2002 ; Sydenstricker-Neto, 2005 ; Walker et Homma, 1996). Farella (2005) a établi en effet que les agriculteurs issus d'une immigration récente, provenant principalement du nord-est du pays, seraient moins disposés à préserver les forêts et exerceraient un déboisement plus grand afin d'être plus productifs, tandis que les agriculteurs issus du bassin amazonien depuis au moins trois générations auraient une sensibilité plus grande pour la préservation de la ressource et la diversification des produits. Sydenstricker-Neto (2005) en arrive passablement aux mêmes conclusions dans son étude réalisée également en Amazonie brésilienne. En fait, c'est probablement un amalgame de différents facteurs qui explique les raisons qui poussent un agriculteur à exploiter sa forêt d'une façon ou d'une autre (Scatena, et coll., 1996). Ces facteurs ont possiblement un impact sur l'extractivisme, mais cette étude n'a permis de conclure à aucun effet en particulier. Il est intéressant de constater que dans les communautés visitées, les grands utilisateurs des forêts n'étaient pas exclusivement originaires du Pará de génération en génération. Cela laisse croire que le savoir traditionnel issu du bassin amazonien serait transmis rapidement jusqu'aux nouveaux immigrants.

La taille moyenne des lots de cette étude est similaire à ce qui est retrouvé en général dans le bassin amazonien (Browder, Wynne et Pedlowski, 2005; Browder, Pedlowski et Summers, 2004 ; Farella, 2005; Scatena et coll., 1996). À titre d'exemple, le projet de colonisation d'Uruará, dans l'État du Pará, attribuait à chaque agriculteur 100ha à cultiver (IDESP, 1990). La taille du lot est un élément déterminant souvent cité par les études en ce qui a trait à l'aménagement des terres (Browder, Pedlowski et Summers, 2004 ; Metzger, 2002) Selon Coomes, Grimard et Burt, (2000), les grands lots permettent des jachères plus grandes et plus longues. Ils permettent aussi le maintien d'un pourcentage plus grand de forêt primaire, car la pression sur leur déboisement est moins forte en raison d'une plus grande superficie de terres à cultiver, à l'instar de ce qui est trouvé dans l'étude de Smith et collègues (1999). La taille des jachères de cette étude est généralement autour d'un hectare, ce qui correspond à la

superficie qui est habituellement déboisée annuellement pour l'agriculture (Gehring et coll., 2005).

La communauté de São Luíz do Tapajós est celle qui utilisait le moins les produits de ses forêts. Les lots y étaient d'ailleurs beaucoup plus petits. La communauté de Nova Canãa avait également de petits lots se traduisant par de petites jachères et une plus faible utilisation de ces dernières. De plus, il était difficile de trouver à proximité de ces villages des forêts primaires et quand les agriculteurs en possédaient, elles étaient de petite taille. L'absence de forêt primaire à proximité des jachères peut nuire à leur diversification, car la colonisation végétale est alors plus difficile (Moran *et coll.*, 2000). Ces deux communautés étant les seules accessibles par la route, il est possible que ce facteur ait influencé la taille des lots. La route facilite sans doute l'arrivée des colons qui augmentent la pression humaine et le morcellement du territoire. Chomitz et Thomas (2000) estiment que 85% du déboisement a lieu dans un périmètre de 50km d'une route. La route permettait également à São Luíz do Tapajós la présence de petits commerces. C'est possiblement ces commerces, ainsi que la taille réduite des lots qui sont à l'origine de la faible utilisation des forêts. Lorsqu'ils en ont la chance, les agriculteurs préfèrent peut-être acheter les produits que de les extraire de leurs forêts. La présence de la route ne semble pas favoriser une vente plus importante de produits vers Itaituba, la ville la plus proche, ce qui pourrait favoriser l'extractivisme. Soulignons enfin que São Luíz do Tapajós est une communauté établie dans la région depuis bon nombre d'années, ce qui fait que le déboisement est plus ancien que dans les autres communautés, mais également plus intense ce qui limite la présence des vieilles jachères. Il n'a d'ailleurs pas été possible d'échantillonner de jachères vieilles de plus de 20 ans dans cette communauté.

Les autres communautés n'étaient accessibles que par bateau. Les lots y étaient grands, permettant des forêts primaires résiduelles et des jachères de taille supérieure. Elles se caractérisaient aussi par une utilisation importante des forêts primaires, particulièrement à Mussum/ Vista Alegre. Quoique dans ce cas les jachères étaient très peu utilisées, mis à part une des jachères où une vingtaine d'espèces était récoltée et chassée. À Santo Antonio les forêts primaires étaient plus petites et les jachères plus grandes, résultant en une utilisation

équivalente des deux types de forêt. Otávio do Canto, qui a réalisé une enquête sociologique dans six communautés identiques aux nôtres en 2006, dans le cadre du même projet de recherche, a également constaté que l'extractivisme était pratiqué par un plus grand nombre d'agriculteurs à Mussum (20%), Vista Alegre (20%) et Açaituba (25%), comparativement aux communautés de Nova Canãa (2%) et de São Luíz do Tapajós (13%). Il a toutefois observé une faible activité d'extractivisme d'à peine 2% à Santo Antonio, contrastant avec les résultats de cette étude (Canto, 2006, Communication personnelle). Dans cette étude, il semble que lorsque les forêts primaires dominent en superficie par rapport aux jachères, elles deviennent le lieu de prédilection pour la récolte, les jachères étant utilisées en second recours. Ceci pourrait expliquer le fait que chacune des espèces soit plus fréquemment utilisée en forêt primaire qu'en jachère. L'extractivisme en jachère dépend donc probablement à la fois du potentiel des forêts primaires situées à proximité et de la taille de la jachère.

Un phénomène caractéristique des communautés qui ont participé à notre étude est la création de colonies au fil du temps, plus loin dans les terres, qui les subdivisent alors en deux. Les communautés ont été établies à l'origine sur le bord des rivières, mais en raison d'un déboisement important et graduel des terres près des berges, les agriculteurs ont dû se rendre de plus en plus loin pour faire de l'agriculture. Certains ont même établi leur maison dans la nouvelle colonie, évitant par le fait même de parcourir de grandes distances matin et soir. Toutefois, la distance entre la maison et le lot ne semble pas un problème pour les agriculteurs de la communauté de Mussum/ Vista Alegre, qui malgré les 6km de marche par jour, sont parmi les plus grands utilisateurs de leur forêt primaire. À l'inverse, les forêts primaires et les jachères à proximité des maisons dans les autres communautés ne sont pas nécessairement exploitées davantage. Appuyant les résultats de notre étude, la distance entre la maison et le lot n'a été que rarement mentionnée comme un facteur clé influençant les dynamiques de la petite agriculture selon Browder, Pedlowski et Summers (2004), qui ont réalisé une méta-analyse des facteurs qui affectent la gestion des fermes familiales en Amazonie.

4.3 Choix des espèces plantées

Les plantations en jachères étaient assez modestes, les agriculteurs ne plantant en moyenne qu'une trentaine de plants par espèce, qui se limitaient généralement à seulement deux espèces. Les agriculteurs qui plantent en jachère ne dépendent manifestement pas de cette petite production supplémentaire pour vivre. Cette pratique paraît être plutôt une alternative les aidant à diversifier leur alimentation et à obtenir un revenu d'appoint. Un seul agriculteur a planté une dizaine d'espèces dans sa minuscule jachère de 0.25ha, déclarant utiliser les produits de sa plantation pour sa consommation personnelle uniquement. Il est tout de même intéressant de constater que la plantation d'arbres dans les jachères fait partie des habitudes de certains agriculteurs.

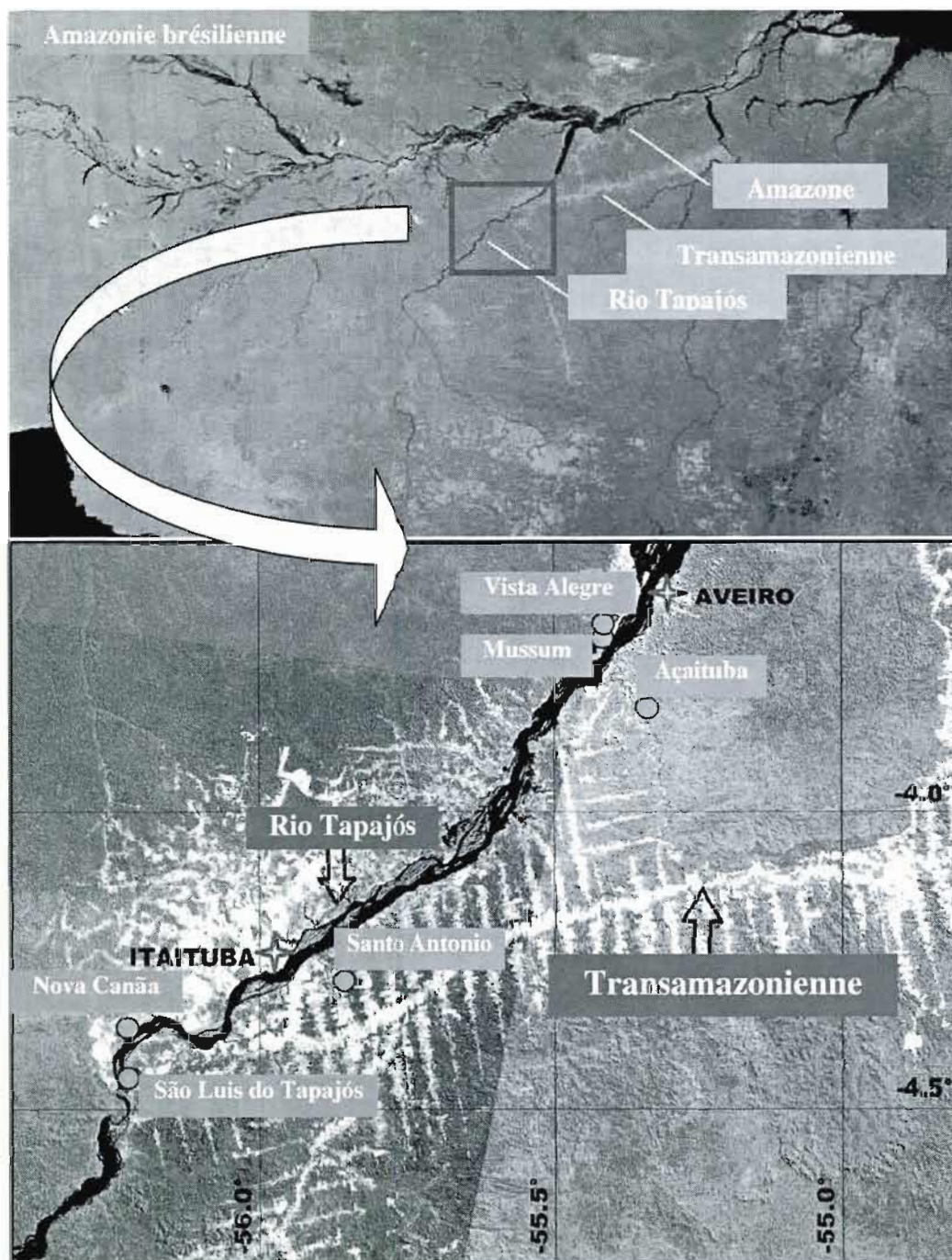
5. Conclusion

Les forêts primaires et les jachères semblent représenter un fort potentiel pour l'extractivisme dans le contexte de l'agriculture familiale de la région du Rio Tapajós, avec plus de 80 espèces citées dans le cadre de la présente étude, ce qui donne un aperçu de l'utilisation actuelle de ces forêts dans la région. Cela laisse entendre que le savoir concernant les espèces prélevées en forêt est encore transmis de génération en génération. Des initiatives qui viseraient à maintenir cette transmission du savoir traditionnel doivent être encouragées. Plusieurs des espèces mentionnées dans cette étude sont également utilisées dans des projets agroforestiers du bassin amazonien. L'exploitation de ces espèces constitue donc un départ intéressant pour de futurs projets agroforestiers dans la région, car elles sont connues des agriculteurs. Il est également intéressant de constater qu'une vingtaine d'espèces d'arbres a été plantée dans les jachères. Loin de constituer des systèmes agroforestiers, ces plantations éparses constituent tout de même un bon moyen de diversifier l'alimentation et de procurer un revenu d'appoint pour les petits agriculteurs.

Bien qu'un nombre similaire d'espèces était retrouvées dans les deux types de forêt, la récolte était généralement plus fréquente en forêt primaire qu'en jachère. Dans les jachères en effet, une espèce n'était que rarement récoltée par plus d'un à deux agriculteurs. Il est possible que le plein potentiel de récolte des jachères ne soit pas toujours exploité. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation. Les facteurs sociologiques ne se sont pas révélés être très déterminants dans cette étude, par contre les facteurs géographiques semblent mieux expliquer la faible récolte à certains endroits et une activité extractiviste plus intense sur d'autres lots. La présence de la route paraît tout d'abord avoir une influence sur la taille des lots et par conséquent sur l'extractivisme, car les deux communautés qui exploitent le moins leurs jachères sont situées aux abords de la route transamazonienne. Dans un contexte d'isolement à l'inverse, les jachères et les forêts primaires sont utilisées plus intensément pour obtenir des biens essentiels, une source de protéine complémentaire et de plantes médicinales, compensant dans ce dernier cas une faible disponibilité de médicaments. De plus, la présence et la taille des forêts primaires semblent également déterminantes dans l'utilisation de jachères. Il semble que l'extractivisme en forêt primaire ait préséance sur celle des jachères, induisant ainsi de faibles récoltes en jachère quand les ressources de la forêt primaire sont abondantes. L'extractivisme dans cette région de l'Amazonie ne se compare pas à ce qui est rapportée dans les communautés autochtones, mais elle constitue tout de même une activité pratiquée par bon nombre d'agriculteurs sur un nombre non négligeable d'espèces. Ces pratiques doivent être encouragées par des campagnes de sensibilisation et d'éducation. Elles peuvent éventuellement être un incitatif à la préservation de ces deux types de forêts, favorisant du même coût la reprise de la fertilité des sols, la préservation de la biodiversité et un revenu à long terme, pour peu que des efforts quant à une intensification d'une agriculture durable soit mis en place en parallèle.

Remerciements : Un merci tout particulier à Chieno Suemitsu professeure au campus de Santarém de l'Universidade Federal do Pará (UFPA) et la Dra Elisabeth Van den Berg, du Museu Emílio Paraense Goeldi (MPEG), à Belém pour l'identification des espèces.

Figure 2.1 : Carte de la région d'étude



- Les communautés visitées sont représentées par des ronds
- ★ Les villes les plus importantes sont représentées par des étoiles

Figure 2.2 : Nombre d'espèces végétales et animales utilisées dans les jachères en fonction de leur âge

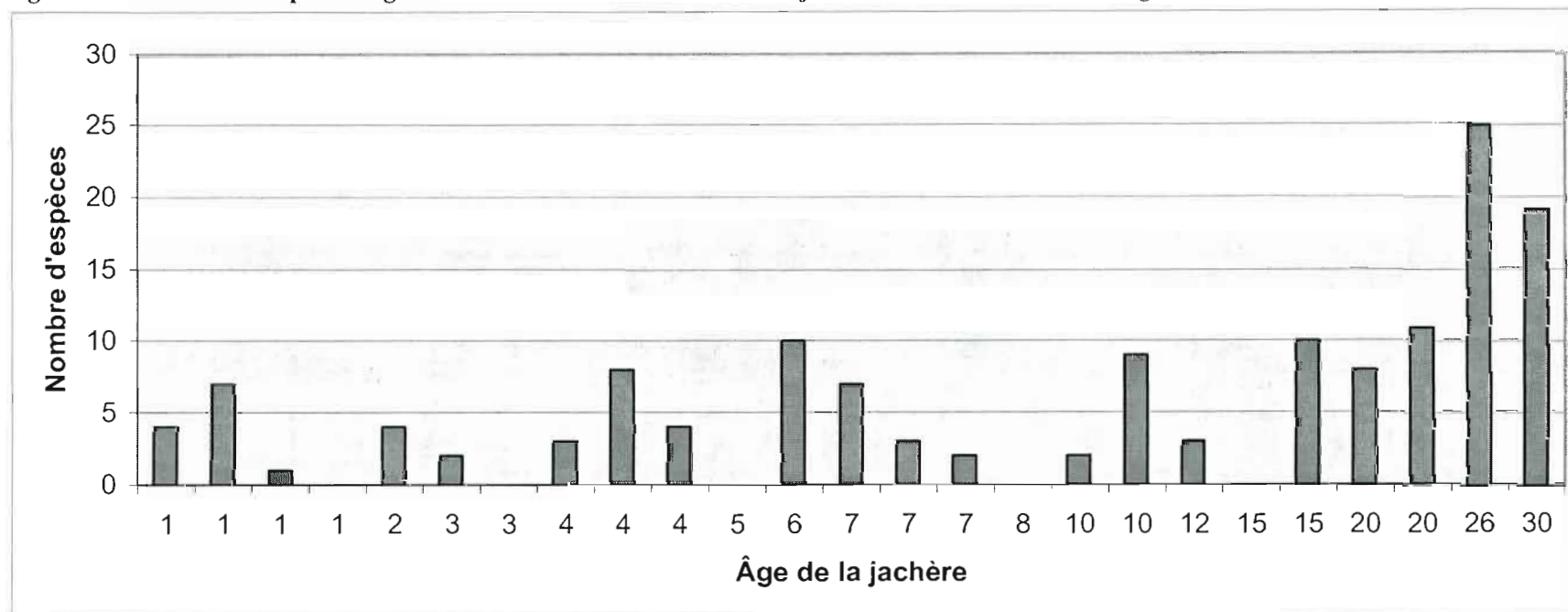


Fig. 2.3 : Répartition du nombre d'espèces par communauté

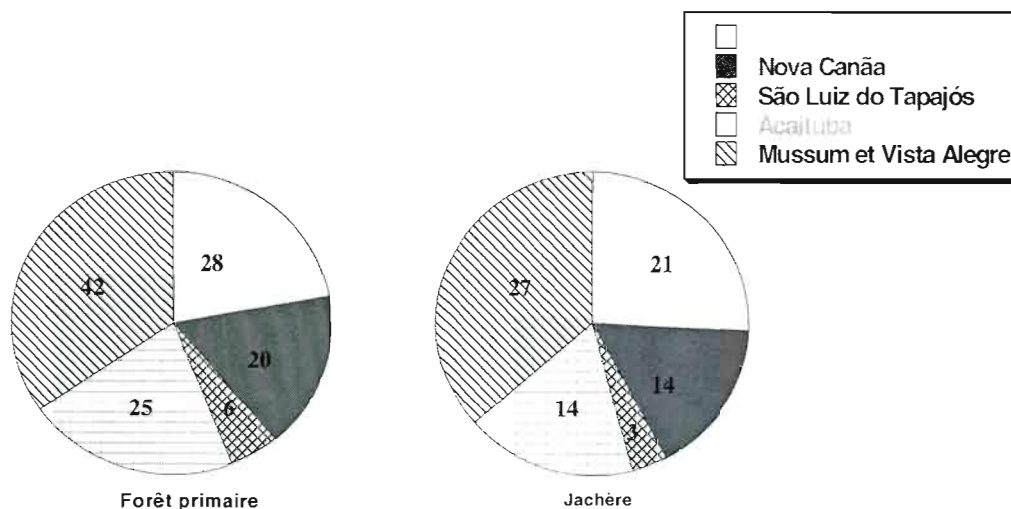


Fig. 2.4 : Répartition du nombre d'espèces par classe de produit (%)

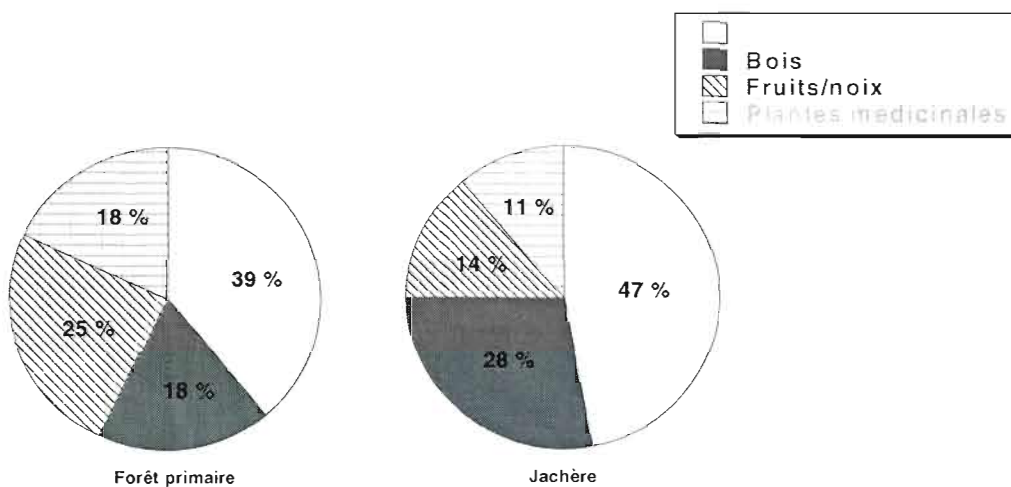


Fig. 2.5 : Fréquence d'utilisation des catégories de produit par les agriculteurs (%)

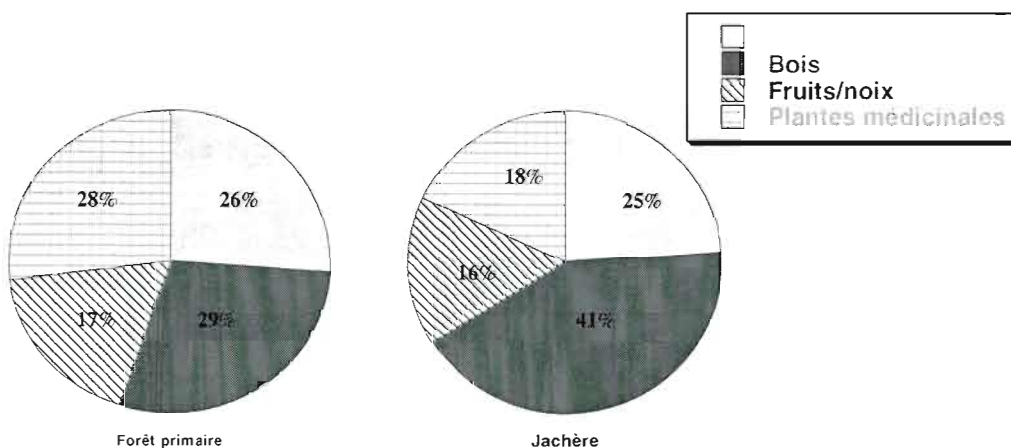


Tableau 2.1: Liste des plantes récoltées et des animaux chassés dans les forêts secondaires (FS) et primaires (FP) de la région du Rio Tapajós, Pará, Amazonie brésilienne

A) Fruits et noix

| Nom commun ⁽¹⁾ | Nom scientifique ⁽²⁾ | Famille ⁽³⁾ | Nb agriculteur par type forêt ⁽⁴⁾ | | Utilisation ⁽⁵⁾ | Identifications alternatives ⁽⁶⁾ |
|---|--|------------------------|--|----|----------------------------|--|
| | | | FS | FP | | |
| Açaí | <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | Arecaceae | 1 | 8 | | |
| Babaçu | <i>Orbignia phalerata</i> Mart. | Arecaceae | | 1 | | Synonyme : <i>Attalea speciosa</i> Mart. Ex Spreng. |
| Bacaba (bacaba-do-Pará, bacaba-de-leque, bacaba-de-azeite) | <i>Oenocarpus distichus</i> Mart. | Arecaceae | 1 | 3 | | <i>O. bacaba</i> Mart. (Bacabi) est également retrouvé dans le même habitat que <i>O. distichus</i> , dont il se différencie par ses feuilles disposées en spirale. |
| Buriti (Miriti) | <i>Mauritia flexuosa</i> L.f. | Arecaceae | 1 | 1 | | |
| Castanha-do-Pará | <i>Bertholletia excelsa</i> Humb. et Bonpl. | Lecythidaceae | 6 | 16 | | |
| Pajurá | <i>Couepia bracteosa</i> Benth. | Chrysobalanaceae | | 1 | | |
| Patauá | <i>Jessenia bataua</i> (Mart.) Burret | Arecaceae | 2 | 2 | | Synonyme : <i>O. bataua</i> Mart. |
| Piquiá, piqui (pequi, piquiá, pequiá) | <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers. | Caryocaraceae | 3 | 7 | | Synonyme : <i>C. nuciferum</i> L. (pequiá). <i>C. glabrum</i> (Aubl.) Pers. (pequiá) est retrouvé tant en forêt de terra firme que dans des várzeas, alors que <i>C. villosum</i> ne se retrouve que dans les forêts de terra firme. |
| Tucumã | <i>Astrocaryum vulgare</i> Mart. | Arecaceae | 1 | 5 | | Synonyme: <i>A. aculeatum</i> G. Mey. |
| Uxi | <i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrecasas | Humiriaceae | 1 | 11 | | |
| Uxicuruá (uxi curuca) | <i>Duckesia verrucosa</i> (Ducke) Cuatrecasas | Humiriaceae | | 1 | | |
| TOTAL | 8 espèces de forêt secondaire et 11 espèces de forêt primaire | | | | | |

B) Plantes médicinales

| Nom commun | Nom scientifique | Famille | Nb agriculteur par type forêt ⁽⁴⁾ | | Utilisation | Identifications alternatives |
|--------------------------|---|---|--|----|---|---|
| | | | FS | FP | | |
| Amapá | <i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke | Apocynaceae | | 2 | Latex médicinal | <i>Brosimum parinarioides</i> Ducke (amapá[doce]), Moraceae. |
| Amargoso (fava amargosa) | <i>Vatairea fusca</i> (Ducke) Ducke | Leguminosae-Papilionoideae (Engler et Prantl 1934) Fabaceae (Cronquist 1980) | | 1 | Contre la malaria | Comme l'amargoso, l'amargosa représente plusieurs espèces qui possèdent des principes amers tanniques ou alcaloïdes : <i>Brosimum</i> spp. (Moraceae), <i>Hymenolobium</i> spp. (Leguminosae – Papilionoidae), <i>Aspidosperma</i> spp. (Apocynaceae), <i>Vatairea</i> spp. (Leguminosae – Papilionoidae), <i>Bowdichia</i> spp. (Leguminosae – Papilionoidae), etc. Au Brésil, on utilise le nom commun d'amargosa pour désigner l'huile des semences du <i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth. (Leguminosae – Papilionoidae). |
| Andiroba | <i>Carapa guianensis</i> Aubl. | Meliaceae | | 3 | Huile médicinale | |
| Cacau | <i>Theobroma cacao</i> L. | Sterculiaceae | | 1 | Fleur pour traiter les problèmes du sang | |
| Caju | <i>Anacardium occidentale</i> L. | Anacardiaceae | | 1 | Écorce médicinale | |
| Cajuaçu (cajuf à Belém) | <i>Anacardium giganteum</i> Hanc. Ex Engler | Anacardiaceae | 1 | 1 | Tisane aux propriétés anti-inflammatoires | |
| Cana-mansa | <i>Costus spicatus</i> (Jacq.) Sw. | Zingiberaceae (Engler) Costaceae (Cronquist) | 1 | | Traitement des reins | 1 |
| Castanha-do-Pará | <i>Bertholletia excelsa</i> Humb. et Bonpl. | Lecythidaceae | 1 | | Traitement des amibes | |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------------------|---|---|--|---|
| Cipó escada-de-jabuti | <i>Bauhinia splendens</i> H.B.K. | Leguminosae-Caesalpinioideae | 1 | | Traitement de la diarrhée | Il existe 16 espèces de plantes qui portent le nom commun de escada-de-jabuti en Amazonie, toutes appartenant au genre <i>Bauhinia</i> sp |
| Copaíba-marimari | <i>Copaifera reticulata</i> Ducke | Leguminosae-Caesalpinioideae | | 6 | Écorce et huile médicinales | Autres copaïbas amazoniens : <i>C. martii</i> Hayne, <i>C. multijuga</i> Hayne. <i>C. guyanensis</i> Desf. (copaíba) ne se rencontre pas dans la région, il ne croît que sur la rive nord du Rio Amazonas et seulement dans l'état d'Amazonas et en Amazonie extra-brésilienne. |
| Cumari (trevo-cumari, trevo-cumaru) | <i>Stethoma pectoralis</i> (Jacq.) Raf. | Acanthaceae | | 1 | Traitement de la pneumonie | |
| Cumarú | <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. | Leguminosae-Papilionoideae | | 2 | Traitement du "rumo" | |
| Ipê-uba (jatobárana) | <i>Macrolobium bifolium</i> (Aubl.) Pers. | Leguminosae-Caesalpinioideae | | 2 | Écorce médicinale | Dans la région, plusieurs légumineuses sont désignées par le nom de ipê. <i>M. bifolium</i> y est l'espèce la plus probable. Le nom commun de iperana est parfois utilisé aussi pour cette espèce. |
| Jaborandi | <i>Pilocarpus jaborandi</i> Holmes | Rutaceae | 1 | 1 | Traitement des gastrites | Le nom commun jaborandi est également utilisé pour deux autres espèces de pilocarpus : <i>P. microphyllus</i> qui est trifolié et <i>P. pauciflorus</i> aux feuilles simples. |
| Jatobá (jutaí, jutaí-açu) | <i>Hymenaea courbaril</i> L. | Leguminosae-Caesalpinioideae | | 2 | Écorce médicinale | <i>Dialium guianensis</i> (Aubl.) Sand. (jutaí pororoca), de la même famille, est également retrouvé dans la région. |
| Picão (picão preto) | <i>Bidens pilosus</i> L. | Compositae (Asteraceae) | 1 | | Traitement du foie | |
| Preciosa, (canela, casca preciosa) | <i>Aniba canellila</i> (Kunth.) Mez. | Lauraceae | | 9 | Écorce médicinale, traitement de l'estomac | |
| Quina (quina-do-Pará) | <i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum. | Rubiaceae | | 1 | | |

| | | | | | | |
|---------------------------|--|---------------|---|---|---|--|
| Quina-quina (caferana) | <i>Picrolemna pseudocoffea</i> Ducke | Simaroubaceae | | 1 | Traitement de la malaria | Le nom commun de quina-quina est aussi utilisé pour <i>Ogcodeia amara</i> Ducke, de la famille des Moraceae. Pour cette espèce, le nom commun de bálsamo est également usité. |
| Sacaca | <i>Croton cajucara</i> Benth. | Euphorbiaceae | 2 | 1 | Écorce médicinale pour le traitement du foie | |
| Sucuúba | <i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Muell. Arg.) Woods | Apocynaceae | 3 | 3 | Écorce et latex médicinaux, propriétés anti- inflammatoire | Outre <i>H. sucuuba</i> , le nom commun sucuúba est aussi utilisé en Amazonie pour <i>H. articulatus</i> (M. Vahl) R.E. Woodson, qui se rencontre dans la partie orientale du NE du Pará et dans l'Amapá, concomitant avec <i>H. sucuuba</i> . |
| Taperebá | <i>Spondias mombin</i> L. | Anacardiaceae | 1 | | Écorce médicinale pour le traitement du foie | |
| Uxi | <i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrecasas | Humiriaceae | | 2 | Écorce médicinale | |
| TOTAL | 9 espèces de forêt secondaire et 18 espèces de forêt primaire | | | | | |

C) Bois

| Nom commun | Nom scientifique | Famille | Nbr agriculteur par type forêt ⁽⁴⁾ | | Utilisation | Identifications alternatives |
|-----------------------------------|---|------------------------------|---|----|--|--|
| | | | FS | FP | | |
| Abiu | <i>Pouteria caimito</i> (Ruiz et Pav.) Radlk. | Sapotaceae | 1 | | | Les noms communs de abiu et de abiurana sont utilisés pour des espèces de <i>Pouteria</i> spp., <i>Richardella</i> spp., <i>Microphollis</i> spp., toutes des sapotacées aux fruits excellents. <i>P. macrocarpa</i> (Huber) Ducke et <i>P. macrophylla</i> sont nommés abiu-cutite. Dans la Flona Nacional do Tapajós, le terme abiu-goiabão est utilisé pour le genre <i>Microphollis</i> spp. |
| Adurineira (endurineira) | <i>Coutoubea ramosa</i> Aubl. | Gentianaceae | 4 | | | |
| Amejú | <i>Duguetia lepidota</i> (Miq.) Pulle. | Annonaceae | | 1 | | Le terme amejú-preto est utilisé pour <i>D. flagellaris</i> Huber. |
| Andiroba | <i>Carapa guianensis</i> Aubl. | Meliaceae | | 2 | | |
| Angelim (angelim-da-mata) | <i>Hymenolobium heterocarpum</i> Ducke | Leguminosae - Papilionoideae | | 2 | | Le nom de angelim est aussi utilisé pour <i>H. excelsum</i> Ducke et <i>Dinizia excelsa</i> Ducke (leguminosae – mimosoideae). Le terme angelim-da-mata et angelim-pedra est employé pour décrire le <i>H. petraeum</i> Ducke. |
| Canela-de-velho (canela-de-velha) | <i>Rinorea</i> sp. | Violaceae | | 1 | | Le nom commun de canela-de-velha représente 3 espèces de <i>Rinorea</i> spp. très communes dans la Flona Nacional do Tapajós. |
| Castanha-do-Pará | <i>Bertholletia excelsa</i> Humb. et Bonpl. | Lecythidaceae | | 2 | Récolté seulement quand il est mort, car il est interdit de le couper. | |

| | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|---|---|---------------------------------------|--|
| Cedro | <i>Cedrela odorata</i> L. | Meliaceae | 1 | 2 | Pour la construction, résiste au feu. | Quelques botanistes identifient les espèces de <i>Cedrela</i> de la région comme <i>C. fissilis</i> Huber, mais la plupart des spécialistes suggèrent qu'il s'agit d'une seule espèce. |
| Cedrorana | <i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke | Leguminosae - Mimosoideae | 2 | | Pour la construction, résiste au feu. | |
| Cocão | <i>Crudia glaberrima</i> (Steud.) Macbr. | Leguminosae - Caesalpinioideae | 1 | | | |
| Copaiba-marimari | <i>Copaifera reticulata</i> Ducke | Leguminosae-Caesalpinioideae | | 1 | | |
| Cuaiquara (cuiarana) | <i>Terminalia guyanensis</i> Eichl. | Combretaceae | 1 | | | Le nom commun de cuiarana est aussi utilisé pour <i>Crescentia cujete</i> L. (Bignoniaceae), <i>Eschweilera</i> sp. (Lecythidaceae) et celui de quariquara et de acariquara qui pourraient se rapprocher phonétiquement pour <i>Minquartia guianensis</i> Aubl. (Olacaceae). |
| Cupiúba | <i>Goupia glabra</i> Aubl. | Celastraceae | | 2 | | |
| Farinha-seca | <i>Licania robusta</i> Sagot | Chrysobalanaceae | 2 | | | |
| Faveiro (faveira amargosa, faveira arara, fava arara, fava bolota) | <i>Parkia</i> spp. | Leguminosae-Mimosoidae | 1 | | | Plusieurs noms communs se ressemblent et regroupent plusieurs genres et espèces de légumineuses : fava arara : <i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex Benth., fava bolota : <i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp., faveira amargosa : <i>Vatairea sericea</i> (Ducke) Ducke. |
| Freijó (freijó- branco) | <i>Cordia goeldiana</i> Huber. | Boraginaceae | | 1 | | Le nom freijó est également utilisé pour <i>C. bicolor</i> A.DC. dans la région. |
| Gema-de-ovo | <i>Poecilanthe effusa</i> (Huber) Ducke | Leguminosae - Papilionoideae | 1 | | | |
| Guaruba-cedro (quaruba-cedro) | <i>Vochysia inundata</i> Ducke | Vochysiaceae | | 1 | | |

| | | | | | | |
|---|---|-----------------------------|---|----|--|---|
| Ipê (ipê amarelo, ipê branco, ipê roxo) | <i>Tabebuia</i> spp. | Bignoniaceae | 2 | 3 | | Le terme ipê est utilisé pour diverses espèces de <i>Tabebuia</i> spp : <i>T. serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson et <i>T. ochracea</i> (Cham.) Standl. : ipê amarelo, <i>T. speciosa</i> Standl. : ipê branco, <i>T. impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl. et <i>T. heptaphylla</i> (Vell.) Toledo : ipê roxo. |
| Itaúba | <i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub. | Lauraceae | 1 | 10 | Pour la construction, résiste au feu | |
| Japacanim | <i>Parkia oppositifolia</i> Benth. | Leguminosae- Mimosoideae | 1 | | | |
| Jarana | <i>Holopyxidium</i> sp. | Lecythidaceae | | 4 | | Le nom commun de jarana est donné à plusieurs lecythidacées : <i>H. jarana</i> (Huber) Ducke, <i>H. latifolium</i> (A.C.Smith) R. Knuth, <i>Lecythis lurida</i> (Miers) Mori, <i>H. tapajoensis</i> (jarana-de-folha-larga) est également retrouvé dans la Flona Nacional do Tapajós. |
| Lacre | <i>Vismia</i> spp. | Clusiaceae | 5 | | Récolté sur des terres ayant subi un brûlis. | Le nom commun de lacre est utilisé pour diverses espèces de <i>Vismia</i> spp. communes dans des milieux ouverts et qui se caractérisent par la présence de trichomes sur leurs feuilles de couleur rouille : <i>V. guianensis</i> (Aubl.) Pers., <i>V. cayenensis</i> (Jacq.) Pers., <i>V. baccifera</i> , (L.) Triana & Planch. Dans la Flona Nacional do Tapajós, le nom de lacre est donné à <i>V. arborea</i> , un arbre à l'écorce rugueuse de près de 10m de haut. |
| Lacre-da-vagem | <i>Capparis</i> sp. | Capparidaceae | | 1 | | |
| Maçaranduba | <i>Manilkara</i> spp | Sapotaceae | 1 | 3 | Pour la construction, résiste au feu | |
| Maracatiara (muiracatiara) | <i>Astronium lecontei</i> Ducke | Anacardiaceae | | 1 | | |

| | | | | | | |
|---|---|----------------------------------|---|---|-------------------|--|
| Marapixuna (muirapixuna) | <i>Cassia scleroxylon</i> Ducke | Leguminosae- Caesalpinioideae | 2 | 1 | | |
| Maria-mole (joão-mole) | <i>Neea oppositifolia</i> Ruiz et Pavon | Nyctaginaceae | 1 | | | |
| Marupá | <i>Simarouba amara</i> Aubl. | Simaboubaceae | | 1 | | |
| Morototó | <i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch. | Araliaceae | 1 | | | |
| Murici | <i>Byrsonima spp.</i> | Malpighiaceae | 2 | | Récolté après feu | |
| Preciosa | <i>Aniba canellila</i> (Kunth.) Mez. | Lauraceae | | 1 | | |
| Puleira-do-pombo (passarinheira, poleiro) | <i>Lacistema aggregata</i> (Berg) Rusby | Lacistemaceae | 1 | | | |
| Quina (quina-do-Pará) | <i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum. | Rubiaceae | 1 | | | |
| TOTAL | 20 espèces de forêt secondaire et 19 espèces de forêt primaire | | | | | |

(1) : Noms communs mentionnés par les agriculteurs ayant participé à l'étude. Entre parenthèses, autres noms communs cités par des botanistes brésiliens ayant collaborés à la préparation de ce tableau

(2) : Noms scientifiques probables validés par les botanistes brésiliens.

(3) : Familles déduites à partir des noms scientifiques probables

(4) : Le nombre d'agriculteurs qui récoltent cette espèce dans chaque type de forêt (FP : forêts primaires ou FS : forêts secondaires)

(5) : Utilisation mentionnée par les agriculteurs ayant participé à l'étude.

(6) : Identifications alternatives proposées par les botanistes brésiliens ayant collaboré à la préparation de ce tableau.

D) Animaux

| Nom commun ⁽¹⁾ | Nom scientifique ⁽²⁾ | Famille ⁽³⁾ | Nb agriculteur par type forêt ⁽⁴⁾ | | Commentaires ⁽⁵⁾ |
|---------------------------|---|------------------------|--|----|---|
| | | | FS | FP | |
| Aracua | <i>Ortalis</i> spp. | Cracidae | 1 | | Sud du fleuve Amazone |
| Arara | <i>Ara</i> spp. | Psittacidae | | 1 | L'ararajuba (<i>Guaruba guarouba</i>) est menacé d'extinction au Pará |
| Caititu, caititu | <i>Tayassu tajacu</i> | Tayassuidae | 2 | 7 | |
| Cujubim, kujubi | <i>Pipile kujubi</i> | Cracidae | 1 | 1 | |
| Cutia | <i>Dasyprocta</i> spp. | Agoutidae | 5 | 7 | |
| Jabuti | <i>Geochelone carbonaria</i> | Testudinidae | 1 | 5 | <i>G. denticulata</i> est également retrouvé dans la région |
| Jacamim | <i>Psophia</i> spp. | Psophiidae | 1 | 1 | Le jacamin-de-costas-verdes (<i>Psophia viridis obscura</i>) est menacé d'extinction au Pará |
| Jacu | <i>Penelope</i> spp. | Cracidae | 1 | 6 | |
| Jaguatirica | <i>Leopardus pardalis</i> | Felidae | | 1 | Le jaguatirica (<i>Leopardus pardalis mitis</i>) est menacé d'extinction dans plusieurs régions du Brésil |
| Mutum | <i>Crax</i> spp. | Cracidae | 1 | 7 | Le mutum-de-penacho (<i>Crax fasciolata pinima</i>) est menacé d'extinction au Pará |
| Nambu, inhambu | <i>Tinamus</i> spp. ou <i>Crypturellus</i> spp. | Tinamidae | | 2 | |
| Nambuaçu, inhambuaçu | <i>Tinamus major</i> | Tinamidae | | 1 | |
| Onça-pintada | <i>Panthera onça</i> | Felidae | | 1 | La onça-pintada (<i>Panthera onça</i>) est menacée d'extinction au Pará |
| Paca | <i>Agouti paca</i> | Agoutidae | 16 | 15 | |
| Porcão, porco-queixada | <i>Tayassu pecari</i> | Tayassuidae | | 4 | |
| Tatu | <i>Dasyurus</i> spp. | Dasypodidae | 18 | 15 | De nombreux autres genres portent le nom commun de tatu |
| Tucano | <i>Ramphastos</i> sp. | Ramphastidae | 1 | 1 | |
| Veado | <i>Mazama</i> spp. | Cervidae | 6 | 11 | |
| TOTAL | 12 espèces de forêt secondaire et 17 espèces de forêt primaire | | | | |

(1) : Noms communs mentionnés par les agriculteurs ayant participé à l'étude.

(2) : Noms scientifiques probables validés par les références suivantes : Shanley *et al.* (1998) et Shanley and Medina (2005).

(3) : Familles déduites à partir des noms scientifiques probables

(4) : Le nombre d'agriculteurs qui chassent cette espèce dans chaque type de forêt (FP : forêts primaires ou FS : forêts secondaires)

(5) : Commentaires (Liste Nationale des Espèces de la Faune Brésilienne Menacées d'Extinction, IBAMA, 2003)

Tableau 2.2 : Liste des végétaux plantés dans les forêts secondaires de la région du Rio Tapajós, Pará, Amazonie brésilienne

| Nom commun ⁽¹⁾ | Nom scientifique ⁽²⁾ | Famille ⁽³⁾ | Nb agriculteur ⁽⁴⁾ | Raison invoquée ⁽⁵⁾ | Commentaires ⁽⁶⁾ |
|---------------------------|--|------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------|
| Abacaxi | <i>Ananas comusus</i> L. | Bromeliaceae | 2 | Consommation des fruits | |
| Açaí | <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | Arecaceae | 1 | Consommation des fruits et reboisement | |
| Andiroba | <i>Carapa guianensis</i> Aubl. | Meliaceae | 2 | Produit médicinal et vente du bois | |
| Azeitona-preta | <i>Sizigium cuminii</i> (L.) Skeels | Myrtaceae | 1 | Consommation des fruits | Espèce exotique d'Asie |
| Banana | <i>Musa</i> spp. | Musaceae | 2 | Consommation des fruits | |
| Buriti (miriti) | <i>Mauritia flexuosa</i> L.f. | Arecaceae | 1 | Conservation de l'eau | |
| Caju | <i>Anacardium occidentale</i> L. | Anacardiaceae | 1 | Consommation des fruits | |
| Cará | <i>Dioscorea</i> spp. | Dioscoreaceae | 2 | | |
| Castanha-do-Pará | <i>Bertholletia excelsa</i> Humb. Et Bonpl. | Lecythidaceae | 3 | Consommation des noix et préservation de l'espèce | |
| Cedro | <i>Cedrela odorata</i> L. | Meliaceae | 2 | Vente du bois | |
| Cupuaçu, (cupu) | <i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) Schum. | Sterculiaceae | 1 | Consommation des fruits | |
| Goiaba | <i>Psidium guayava</i> L. | Myrtaceae | 1 | Consommation des fruits | |
| Jambo | <i>Eugenia malaccensis</i> L. | Myrtaceae | 1 | Consommation des fruits | Espèce exotique de Malaisie |
| Lacre | <i>Vismia</i> spp. | Clusiaceae | 1 | Utilisation du bois en raison de sa ressemblance avec le cedro | |
| Laranja | <i>Citrus</i> spp. | Rutaceae | 1 | Consommation des fruits | Espèce exotique de Chine |
| Limão | <i>Citrus</i> spp. | Rutaceae | 1 | Consommation des fruits | Espèce exotique de Chine |
| Mogno | <i>Swietenia macrophylla</i> King | Meliaceae | 2 | Vente du bois et pour la beauté de l'arbre | |
| Piquiá, piqui | <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers. | Caryocaraceae | 1 | Consommation des fruits | |
| Seringueira | <i>Hevea brasiliensis</i> Mull. Arg. | Euphorbiaceae | 1 | Reboisement et ombrage | |
| Taperebá | <i>Spondias mombin</i> L. | Anacardiaceae | 1 | Consommation des fruits | |

(1) : Noms communs mentionnés par les agriculteurs ayant participé à l'étude. Entre parenthèses, autres noms communs cités par des botanistes brésiliens ayant collaborés à la préparation de ce tableau

(2) : Noms scientifiques probables validés par les botanistes brésiliens.

(3) : Familles déduites à partir des noms scientifiques probables

(4) : Nombre d'agriculteurs qui ont planté cette espèce d'arbre

(5) : Raison invoquée par les agriculteurs

(6) : Commentaire

Tableau 2.3 : Caractérisation sociologique des agriculteurs et description physique des lots, jachères et forêts primaires

| Lieu | Age | Marié | Religion | Origine | Origine des parents | Année de scolarité | Nb enfant | Travail enfant | Travail femme | Nb employé | Taille du lot ha | Forêt secondaire | | | | Forêt Primaire | | |
|----------------|-----------|-------|------------|---------|---------------------|--------------------|-----------|----------------|---------------|------------|------------------|------------------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------|-------------|
| | | | | | | | | | | | | Age | Espèce | Taille ha | Distance m | Espèce | Taille ha | Distance m |
| SA | 62 | oui | Catholique | Pará | N-E | 4 | 8 | 7 | oui | 1 | 100 | 20 | 8 | 4.25 | 450 | 15 | DND | 550 |
| SA | 42 | oui | Catholique | N-E | N-E | 4 | 7 | 5 | oui | 0 | 100 | 6 | 7 | 1.5 | 1500 | 16 | 0.15 | 500 |
| SA | 47 | oui | Catholique | Pará | N-E | 4 | 6 | 3 | oui | 4 | 119 | 10 | 8 | 2 | 300 | 12 | 50 | 1000 |
| SA | 33 | oui | Catholique | Pará | Goiás | 4 | 3 | 0 | non | 2 | 119 | 1 | 0 | 4 | 1000 | 7 | 70 | 1000 |
| SA | 41 | oui | Catholique | N-E | N-E | 4 | 3 | 3 | oui | 0 | 100 | 4 | 9 | 8 | 100 | 1 | 2 | 1800 |
| NC | 39 | oui | Ass. Dieu | Pará | Pará | 4 | 2 | 0 | non | 0 | 5 | 30 | 9 | 0.25 | 90 | FNP | FNP | FNP |
| NC | 46 | oui | Évangé. | N-E | N-E | 4 | 5 | 2 | oui | 1 | 100 | 8 | 0 | 4 | 800 | 7 | 56 | 800 |
| NC | 41 | oui | Catholique | DND | DND | 0 | 4 | 0 | oui | 0 | 40 | 4 | 4 | 4.5 | 150 | 15 | 30 | 50 |
| NC | 41 | oui | Catholique | N-E | N-E | 8 | 2 | 0 | oui | 0 | 25 | 15 | 10 | 8 | 500 | 6 | 4 | 500 |
| NC | 33 | oui | Catholique | Pará | Pará | 8 | 2 | 0 | oui | 2 | 4.25 | 2 | 2 | 0.5 | 200 | 1 | 1 | 400 |
| SL | 63 | oui | Catholique | N-E | N-E | 0 | 1 | 0 | oui | 0 | 55 | 1 | 0 | 1.5 | 600 | 3 | 2.8 | 50 |
| SL | 35 | oui | Catholique | N-E | N-E | 0 | 3 | 0 | oui | 0 | 100 | 10 | 0 | 12 | 4000 | 0 | 51 | 4000 |
| SL | 43 | oui | Catholique | Pará | DND | 4 | 15 | 6 | oui | 2 | DND | 5 | 1 | 4 | 800 | 3 | 12 | 1200 |
| SL | 63 | oui | Évangé. | Pará | Goiás | 0 | 10 | 1 | oui | 1 | 50 | 7 | 3 | 0.25 | DND | 1 | 0.05 | DND |
| SL | 54 | oui | Catholique | Pará | N-E | 4 | 6 | 0 | oui | 0 | DND | 3 | 0 | 0.75 | 200 | FNP | FNP | FNP |
| AÇ | 62 | oui | Catholique | Pará | DND | 0 | 9 | 2 | oui | 0 | 100 | 7 | 7 | 1 | 200 | 12 | 88 | 100 |
| AÇ | 42 | oui | Catholique | Pará | N-E | 4 | 6 | 1 | oui | 0 | 60 | 1 | 7 | 1.5 | 500 | 12 | 40 | 600 |
| AÇ | 47 | oui | Catholique | Pará | Pará | 4 | 6 | 5 | oui | 0 | 100 | 20 | 9 | 8 | 100 | 8 | 8.75 | 1000 |
| AÇ | 28 | oui | Catholique | Pará | Pará | 4 | 5 | 0 | oui | 0 | 100 | 12 | 3 | 2.25 | 50 | 10 | 80 | 100 |
| AÇ | 54 | oui | Ass. Dieu | Pará | Pará | 4 | 15 | 5 | oui | 0 | 100 | 3 | 1 | 0.5 | 300 | 14 | 40 | 350 |
| MV | 38 | oui | Catholique | Pará | Pará | 8 | 3 | 1 | oui | 0 | 76 | 4 | 3 | 1 | 3000 | 25 | 60 | 3000 |
| MV | 46 | non | Catholique | Pará | Pará | 4 | 0 | 0 | Non | 4 | 100 | 7 | 2 | 0.75 | 2000 | 14 | 60 | 2000 |
| MV | 53 | oui | Ass. Dieu | Goiás | N-E | 0 | 8 | 0 | oui | 1 | 120 | 1 | 4 | 1 | 400 | 17 | 100 | 400 |
| MV | 39 | oui | Catholique | Pará | Pará | 4 | 4 | 0 | oui | 0 | 72 | 15 | 0 | 1 | 4000 | 5 | 66 | 4000 |
| MV | 55 | oui | Catholique | Pará | Pará | 8 | 4 | 0 | oui | 0 | 70 | 26 | 25 | 1.5 | 5000 | 33 | 40 | 5000 |
| Moyenne | 46 | | | | | 4 | 5 | 2 | | 1 | 82 | 9 | 5 | 4 | 1093 | 10 | 47 | 1291 |

Légende : SA= Santo Antonio, NC = Nova Canã, SL= São Luiz do Tapajós. AÇ= Açaituba, MV= Mussum/Vista Alegre. Évangé = Évangélique.

Ass. Dieu = Assemblée de Dieu. N-E = États du Nord-Est. Distance : distance par rapport à la maison, DND = donnée non disponible, FNP = Forêt non présente sur le lot. Faible utilisation des forêts secondaires, faible utilisation des forêts primaires, faible utilisation des forêts secondaires et primaires et forte utilisation des deux types de forêt.

CONCLUSION GÉNÉRALE

À la lumière de cette étude, les jachères forestières semblent constituer un usage intéressant pour les petits agriculteurs de la région du Rio Tapajós, car elles représentent un moyen d'aider la reprise de la fertilité à la suite de cycles de culture et elles possèdent de plus un potentiel intéressant pour l'extractivisme, et ce, même pour les plus jeunes d'entre elles.

Dans le premier chapitre, nous avons observé que les sols des jachères établies sur sols argileux récupéraient leur fertilité davantage que les sols de celles sur sols sablonneux et qu'ils réagissaient moins durement à des brûlis répétés, comme nos hypothèses l'indiquaient. En effet, en deçà de 15 ans les sols argileux récupéraient une fertilité équivalente à celle des forêts primaires, sauf pour le K, tandis que les sols sablonneux présentaient des valeurs de %C, %N et NO_3 plus faibles qu'en forêt primaire. De plus, un nombre de brûlis supérieur à 5 induisaient des pertes importantes de NO_3 , NH_4 , %C, %N pour les jachères sur sol sablonneux de même que pour toutes les formes de phosphore. Quant au mercure, un phénomène intéressant a pu être mis en lumière, soit le retour du Hg lié aux particules grossières vers les particules fines après environ 7 ans de jachère sur sol sablonneux. Cette migration est possiblement expliquée par l'immobilisation des cations par la biomasse végétale avec le temps qui rend graduellement disponibles les sites de liaison sur les particules fines. Ce phénomène ne semble toutefois pas avoir lieu dans les sols argileux, dû probablement à la plus grande disponibilité des sites de liaison. Dans la situation où les jachères de plus de 15 ans sont présentes, cette étude suggère qu'elles soient utilisées pour de nouveaux cycles de culture si elles sont établies sur des sols argileux, réduisant ainsi la pression sur les forêts primaires, mais une attention devrait alors être apportée pour réduire l'érosion de ces sols dénudés naturellement plus riches en mercure. Nous suggérons que les jachères sablonneuses soient laissées en couvert forestier étant donné leur faible pouvoir de récupération. Des activités d'extractivisme ou des plantations pourraient être privilégiées dans ces forêts.

Les jachères ont montré un fort potentiel pour l'extractivisme dans le chapitre 2. Un nombre impressionnant d'espèces ont été récolté et chassé dans les jachères de tout âge. Ces résultats laissent croire que les agriculteurs détiennent un savoir relatif aux espèces de la forêt plus élaboré que ce qui était attendu. En effet, 80 espèces fournissant du bois, des produits médicinaux, des fruits/noix et des animaux ont été utilisés par les agriculteurs, dans les forêts primaires et secondaires confondues. De ce nombre, plus de 48 espèces étaient extraites des jachères. L'étude montre qu'un nombre potentiel de 9 espèces puisse être retiré des jeunes jachères et jusqu'à 34 espèces des jachères les plus vieilles. L'activité d'extractivisme s'est toutefois révélée plus intense en forêt primaire où un plus grand nombre d'agriculteurs récoltaient les espèces les plus prisées, soit la castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), le uxi (*Endopleura uchi*), l'açaí (*Euterpe oleracea*), le piquiá (*Caryocar villosum*), le tucumã (*Astrocaryum vulgare*), la preciosa (*Aniba canellila*), le copaíba-marinari (*Copaifera reticulata*) et le itaúba (*Mezilaurus itauba*). En jachère, seules quelques espèces végétales étaient récoltées par plus de 5 agriculteurs, soit le lacre (*Vismia* spp.), la castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*) et la sucuúba (*Himatanthus sucuuba*). La chasse pour sa part était pratiquée par presque tous les agriculteurs et sur sensiblement les mêmes trois espèces dans les deux milieux, soit le veadó (*Mazama* spp.), le paca (*Agouti paca*) et le tatu (*Dasypus* spp.). Certains facteurs tels l'âge des jachères, la grandeur des deux types de forêt et la présence de la route semblent déterminants dans le nombre d'espèces utilisé et la provenance en relation avec un type de forêt plutôt qu'un autre. Nous avons observé que les communautés accessibles par la route étaient les plus déboisées et que les agriculteurs y pratiquaient moins la récolte et la chasse, tandis que les communautés isolées avaient de plus grandes forêts et qu'elles utilisaient un grand nombre d'espèces de leurs forêts. De plus, la récolte en forêt primaire paraît être prédominante sur celle en jachère. Autre fait étonnant, 9 des 25 agriculteurs ont mentionné planter une vingtaine d'espèces d'arbres dans leurs jachères. Toutefois, le potentiel de récolte en jachère est loin d'être utilisé à son maximum, contrairement à ce qui se passe avec les peuples autochtones du bassin amazonien. Ces derniers exploitent près du double d'espèces et sont plus sensibles à la préservation des forêts. Il serait intéressant de vérifier si une utilisation plus intense des forêts secondaires dans les communautés caboclos pouvait conduire à un déboisement moins grand.

Des projets d'éducation sur la valorisation des jachères paraissent nécessaires dans la région afin d'aider les agriculteurs à les utiliser à leur plein potentiel, aidant ainsi à diminuer la pression sur les forêts primaires et à diversifier leurs sources de revenus et de nourriture, ainsi que pour mieux préserver leur environnement. La précarité de ces communautés rend difficile tout changement dans les habitudes, mais des modifications dans les pratiques s'imposent, car au rythme où s'effectue le déboisement dans cette partie du monde, la dégradation de l'environnement ne peut que s'aggraver, notamment la contamination au mercure qui est préoccupante dans ces communautés. La présente étude constitue donc la première étape d'un long processus vers la mise en application d'éventuelles solutions de gestion plus durables du territoire. À cet effet, l'implantation de projets agroforestiers dans les jachères, basée sur les connaissances actuelles des agriculteurs, peut constituer une étape supplémentaire vers la prise en charge d'une exploitation respectueuse de la ressource par les petits agriculteurs. Le défi est grand mais pas irréaliste comme le prouvent plusieurs études qui ont mené à bien des projets d'agroforesterie dans des régions semblables. Il est impératif de tenter d'améliorer ce mode d'utilisation des terres, car les alternatives à l'agriculture familiale dans la région, telles l'agriculture extensive du soya et les immenses ranchs, sont un facteur d'exclusion sociale qui pourraient entraîner des problèmes environnementaux à plus grande échelle encore. Malgré les efforts du gouvernement brésilien pour la sauvegarde des forêts, il faut continuer à instaurer dans la région une logique de préservation des ressources et non de marchandisation de la terre à grande échelle. Des efforts supplémentaires de la part des différents paliers de gouvernement, mais également des ONG internationales et locales ainsi que l'investissement dans des projets de recherches innovateurs sont nécessaires pour palier à la domination de l'exploitation à grande échelle des ressources en stabilisant l'agriculture familiale. Une meilleure connaissance des dynamiques physiques et sociales du milieu, ainsi que le transfert de ces connaissances vers les communautés concernées sont essentiels dans le processus d'amélioration des pratiques.

Limites de la recherche

Tout d'abord, la grande hétérogénéité dans les sols a rendu difficile l'identification de tendances statistiquement significatives, malgré parfois des différences notables. Il y avait en effet de grandes différences entre les teneurs en C et N total, ainsi qu'en NO_3 dans les sols sablonneux entre les jachères et les forêts primaires qui n'étaient cependant pas significatives. De même des différences appréciables de Hg entre les jachères et les forêts témoins ne se sont pas non plus révélées significatives. En effet, la variabilité entre les trois carottes de sol de certains sites était telle qu'elle masquait potentiellement la variabilité intersite (appendice B). Afin de conserver le caractère régional de l'étude un compromis a dû être fait sur le nombre d'échantillon par site. Un plus grand nombre de sites de jachère et de forêt primaire, ainsi qu'un plus grand nombre de carotte par site devrait être envisagé pour de futurs échantillonnages, afin de limiter cette variabilité. De plus, il serait important de faire la granulométrie sur l'ensemble des carottes échantillonnées pour que la caractérisation de chaque site soit plus complète. Il serait également intéressant d'identifier sur le terrain la classe granulométrique des sols échantillonnés, afin d'avoir un nombre semblable de sites argileux et sablonneux. Globalement, un plus grand nombre de sites de jachères, mais également de forêts primaires devrait être comparé, car la généralisation est difficile quand un seul site représente un des usages du sol, comme c'était le cas avec le seul site sablonneux qui avait subi plus de 5 brûlis. Même commentaire pour les questionnaires qui devraient être plus nombreux, afin de permettre une analyse plus approfondie et non seulement descriptive.

APPENDICE A MÉTHODOLOGIE

Tableau A.1 : Méthodes d'analyses de laboratoire

| Analyse | Méthode | Quantité requis | Pourcentage analysé | Condition du sol |
|--|--|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Densité du sol | Par pesée et volume | 100 cm ³ | 100% | séché |
| Azote disponible (NO ₃ and NH ₄) | Extraction au KCl 2M Mesuré par colorimétrie (TRAACS) | 1 g | 100% | congelé |
| Fractions Granulométriques | Tamissage humide ≤ 63 µm 63-210 µm 210 µm-2 mm | 5 g | 1/3 | séché |
| Mercure granulo | Extraction: HNO ₃ /HCl Mesuré par fluorescence atomique | 0.250g | 1/3 | séché |
| Mercure bulk | Extraction: HNO ₃ /HCl Mesuré par fluorescence atomique | 0,250 g | 100% | lyophilisé tamisé 2 mm percute |
| pH (H ₂ O) | Dilution H ₂ O 1/3 Mesuré au pH mètre | 7 à 10 g | 100% | lyophilisé tamisé 2 mm percute |
| pH (CaCl ₂) | Dilution CaCl ₂ 1/3 Mesuré au pH mètre | 7 à 10 g | 100% | lyophilisé tamisé 2 mm percute |
| Cations échangeables (Ca, Mg et K) | Extraction au BaCl ₂ Mesuré par absorption atomique. | 3 g | 100% | lyophilisé tamisé 2 mm percute |
| C, N total | Carlo-Erba NC 2500 | 0,001 à 0.010 g | 100% | lyophilisé tamisé 2 mm percute |
| P _{cd} , P _{org} , P _{apa} | Extraction séquentielle Mesuré par colorimétrie (TRAACS) | 0.125g | 1/3 | lyophilisé tamisé 2 mm percute |
| Total de sol utilisé pour toutes les analyses | | 3 g 30 g 5.25 g | Humide Percute Granulo | |

Tiré du Guide d'échantillonnage et des méthodes analytiques utilisées pour les sols provenant du Brésil (Rhéault *et coll.*, 2007).

Tableau A.2 : Seuil de détection des appareils

| | Seuil de détection des appareils |
|-----------------------|-----------------------------------|
| NH₄ | $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol/g}$ |
| NO₃ | $1 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol/g}$ |
| Ca | 0.036 cmol/kg |
| Mg | 0.038 cmol/kg |
| K | 0.026 cmol/kg |
| Phosphore | $3 \cdot 10^{-5} \mu\text{mol/g}$ |
| Hg | 3 ng/g |

La méthode utilisée pour quantifier le mercure dans les sols est précise à ± 9 ng/g.

APPENDICE B

VARIABILITÉ ENTRE LES RÉPLICATS

Tableau B.1 : Reproductibilité moyenne entre les 3 carottes dans un même site

| | Reproductibilité* | | |
|-----------------------|--|-----------------|-----------------|
| | Moyenne \pm écart-type | | |
| | (%) | | |
| | 0-05 cm | 20-25 cm | 50-55 cm |
| Densité | 7 \pm 4 | 5 \pm 4 | 4 \pm 3 |
| PH eau | 6 \pm 5 | 3 \pm 2 | 3 \pm 3 |
| NH₄ | 36 \pm 23 | 42 \pm 19 | 33 \pm 20 |
| NO₃ | 48 \pm 26 | 39 \pm 21 | 44 \pm 26 |
| Ca | 53 \pm 27 | 41 \pm 28 | 37 \pm 29 |
| Mg | 43 \pm 20 | 44 \pm 22 | 44 \pm 26 |
| K | 24 \pm 14 | 23 \pm 16 | 30 \pm 21 |
| Hg total | 16 \pm 17 | 11 \pm 10 | 16 \pm 15 |

*Reproductibilité dans un site entre les trois carottes: (Écart-type/moyenne)*100

APPENDICE C

ANALYSES DE CORRESPONDANCES

Figure C.1: Analyse de correspondance de l'effet du nombre de brûlis sur les variables édaphiques par type de sol, à l'horizon 0-5 et 20-25cm

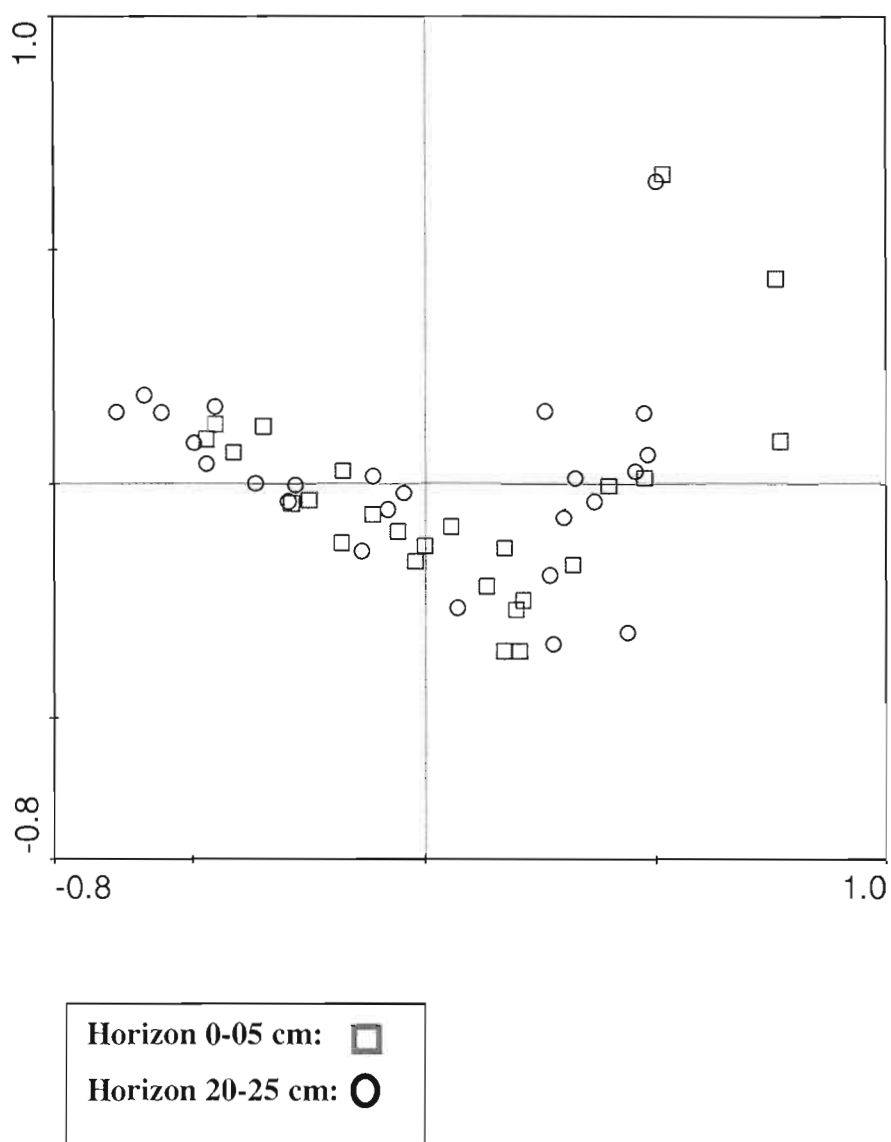
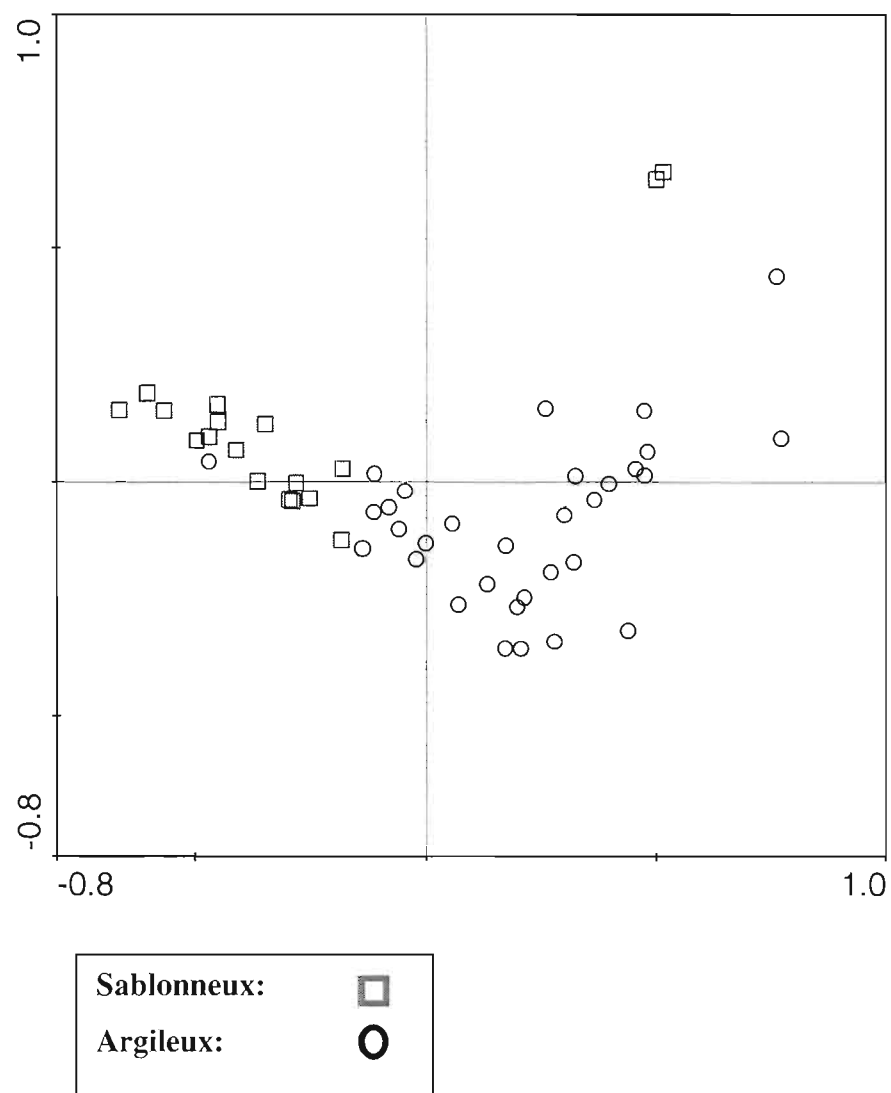


Figure C.2: Analyse de correspondance de l'effet du nombre de brûlis sur les variables édaphiques en sol argileux et sablonneux, horizons 0-5 et 20-25cm confondus



APPENDICE D QUESTIONNAIRE

Comunidade:
Idade da capoeira :
Tipo do solo:

**Questionário para conhecer o modo de utilização da capoeira
Missão científica 2006, região do Rio Tapajós**

Nome do entrevistador :

Data e hora:

Nome do participante:

1. Parte socioeconómica

1.1. Idade : _____

1.2. Sexo: H ☐ M ☐

1.3. Religião: _____

1.4. Origem estado: _____

1.5. Nível de escolaridade: _____

1.6. Ocupação principal : _____

1.7. Outras ocupações: _____

1.8. Casado ☐ ou solteiro? ☐

1.9. Quantas filhos você tem ? _____

1.10. Há quanto tempo você mora nesse lote?

1.11. Onde você morou antes vir para cá? _____

1.12. Tamanho da propriedade : _____ ha

1.13. Quantas pessoas trabalham com você na sua terra?

Das suas filhas: _____ Outras pessoas : _____

1.14. A sua mulher trabalha com você na sua terra? Sim ☐ Não ☐

1.15. Ganha por ano: _____

1.15.1. Ganha por ano em relação com a agricultura:

\$R _____

1.15.2. Ganha por ano em relação com a exploração da capoeira:

\$R _____

2. Utilização atual da capoeira e da mata virgem

2.0 Dados gerais

2.0.1 Idade da capoeira⁷ amostrada : _____ anos

2.0.2 Tamanho da capoeira: _____ ha

2.0.2.1 Distância da casa: _____ m

2.0.3 Tamanho da mata virgem: _____ ha

2.0.3.1 Distância da casa: _____ m

2.1 Extrativismo

⁷ Idade da capoeira = número de anos desde o repos da terra entre 0-2, 3-4, 5-6, 7-8, e mais de 9 .

Você coleta frutos, castanhas, madeira, animais, plantas medicinais ou outros produtos em sua capoeira ou em sua mata virgem para utilização pessoal ou para vendê-lo? Não ☐ Sim ☐

2.1.1 Frutos⁸ o castanhas

2.1.1.1 Duma capoeira

| Espécie | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro / ano |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.1.2 Duma mata virgem

| Espécie | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro / ano |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.2 Plantas medicinais

2.1.2.1 Duma capoeira

| Espécie | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro / ano |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

⁸ Exemplo : Abiu, açaí, babaçu, bacaba, biribá, pupunha, tucumã, etc.

2.1.2.2 Duma mata virgem

| Espécie | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ano |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|--------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.3 Madeiras

2.1.3.1 Duma capoeira

| | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ano |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|--------------|
| Carvão vegetal | | | | | |
| Lenha | | | | | |
| Madeira de construção | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.3.2 Duma mata virgem

| | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ano |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|--------------|
| Carvão vegetal | | | | | |
| Lenha | | | | | |
| Madeira de construção | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.3.3 Você corta arvores? Não (passar à pergunta 2.1.4)

2.1.3.3.1 Quais espécies?

| | Capoeira | | Mata virgem |
|---|----------|--|-------------|
| 1 | | | 1 |
| 2 | | | 2 |
| 3 | | | 3 |
| 4 | | | 4 |

2.1.4 Animais⁹

2.1.4.1 Duma capoeira

| Espécie | Casado por uma mulher | Casado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ ano |
|---------|-----------------------|---------------------|---|------------------------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.4.2 Duma mata virgem

| Espécie | Casado por uma mulher | Casado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ ano |
|---------|-----------------------|---------------------|---|------------------------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

⁹ Exemplo : Pequeno mamífero.

2.1.5 Outros produtos¹⁰

2.1.5.1 Duma capoeira

| Espécie | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ ano |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.1.5.2 Duma mata virgem

| Espécie | Coletado por uma mulher | Coletado por um homem | Quantidade para o consumo pessoal / ano | Quantidade para vender / ano | Dinheiro/ ano |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|------------------------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.2 Manejo florestal

2.2.1 Você planta árvores na sua capoeira? Não (passar à pergunta 2.2.2)

2.2.1.1 Quais espécies e razão do plantio¹¹?

| Espécies | Razão | Quantidade / ano |
|----------|-------|------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

¹⁰ Exemplo : Mel, flor.

¹¹ Razão : Dinheiro, adubar, produzir frutos o outra razão.

2.2.1.2 Qual frequência você planta árvores? :

Cada mês ☐ Cada ano ☐ Cada dois anos ☐ Cada três anos ☐ Menos ☐

2.2.2 Você planta outros vegetais fora das árvores ? Não ☐ [passar à pergunta 3.1](#)) Sim ☐

2.2.2.1 Quais espécies?

1
2
3
4
5

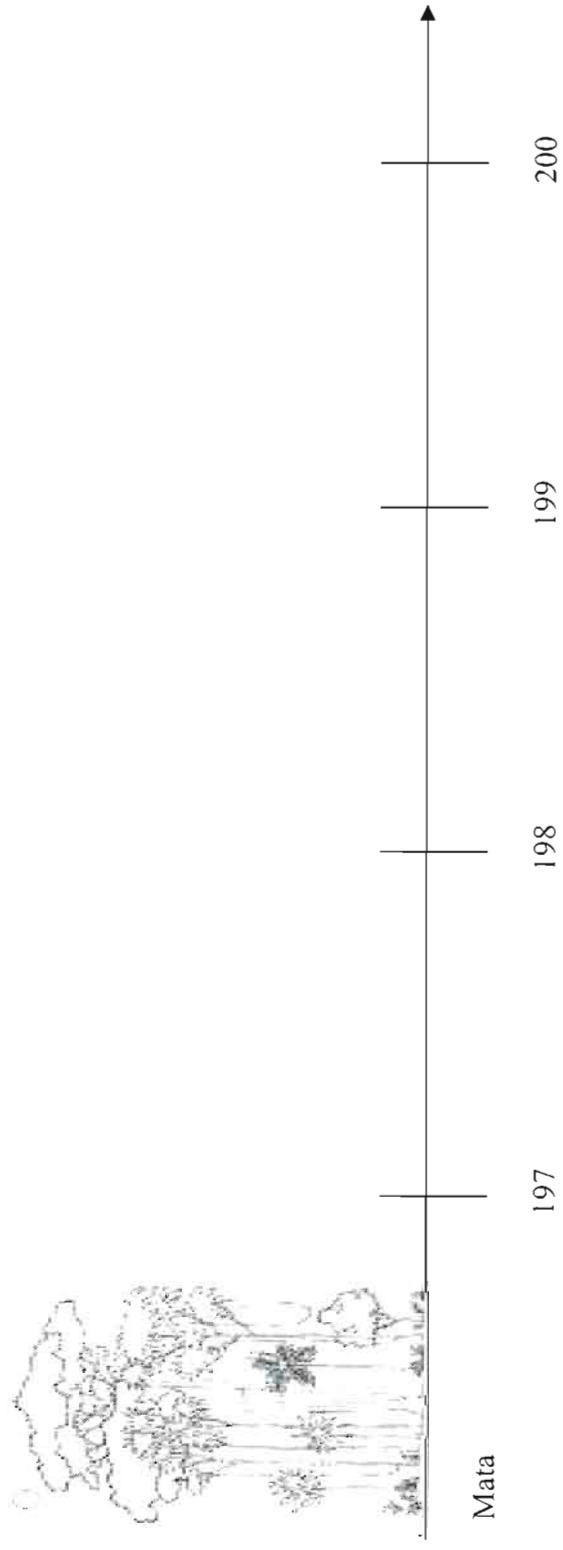
3. Histórico do lote

3.1 Você utilizou fertilizante ou adubo neste lote? Sim ☐ Não ☐

3.2 Quais represnta a capoeira tem para você?¹²

¹² Nenhuma, ajuda o solo, relatório do dinheiro etc.

Histórico do lote



BIBLIOGRAPHIE

- Alegre, J. C., M. R. Rao, L. A. Arevalo, W. Guzman Et M. D. Faminow 2005. «Planted tree fallows for improving land productivity in the humid tropics of Peru». *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 110, p. 104-117.
- Almeida, M. D., L. D. Lacerda, W. R. Bastos et J. C. Herrmann. 2005. «Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondonia, Western Amazon, Brazil». *Environmental pollution*, vol. 137, no 2, p. 179-186
- Andriesse, J.P., et R.M. Schelhaas. 1987. «A monitoring study of nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in tropical Asia : Nutrient stores in biomass and soil- results of baseline studies». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 19, no 4, p. 285-310.
- Ashton, M. S. et F. Montagnini. 2000. «The Silvicultural Basis for Agroforestry Systems». CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 131-160.
- Baar, R., M. dos Reis Cordeiro, M. Denich et H. Fölster. 2004. «Floristic inventory of secondary vegetation in agricultural systems of East-Amazonia». *Biodiversity and Conservation*, vol. 13, p. 501-528.
- Barrios, E., J. G. Cobo, I. M. Rao, R. J. Thomas, E. Amézquita, J. J. Jiménez et M. A. Rondon. 2005. «Fallow management for soil fertility recovery in tropical Andean agroecosystems in Clombia». *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 110, p. 29-42.
- Béliveau, A. 2007. «Déforestation et agriculture sur brûlis en Amazonie brésilienne: les impacts de la première année de culture sur les sols de fermes familiales de la region du Tapajós». Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 136 p.
- Bernoux, M., M. Da Conceição Santana Carvalho, B. Volkoff et C. C. Cerri. 2001. «CO₂ Emission From Mineral Soils Following Land-Cover Change in Brazil ». *Global Change Biology*, vol. 7. p. 779-78.
- Boddey, R.M., J.C. de Moraes Sá, B.J.R. Alves et S. Urquiaga. 1997. «The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics». *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 29. p. 787-799.
- Brady, N. C., et R. R. Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils. Thirteenth Edition*. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 960 p.
- Brazilian Amazon: Comparative Farm-Level Evidence from Rondônia». *Human Ecology*, vol. 32, p. 197-224.

- Browder, J. O., M. A. Pedlowski et P. M. Summers, 2004. «Land-Use Patterns in the Brazilian Amazon: Comparative Farm-Level Evidence from Rondônia». *Human Ecology*, vol. 32, p. 197-224.
- Browder, J.O., Wynne, R.H., Pedlowski, M.A., 2005. «Agroforestry diffusion and secondary forest regeneration in the Brazilian Amazon: further findings from the Rondônia Agroforestry Pilot Project (1992-2002) ». *Agroforestry Systems*, vol. 65, p. 99-111.
- Buol, S.W., et H. Eswaran. 2000. «Oxisols». *Advances in Agronomy*, vol.68, p. 151-195.
- Cahn, M.D., D.R. Bouldin et M.S. Cravo. 1992. «Nitrate sorption in the profile of an acid soil». *Plant and Soil*, vol. 143, p. 179-183.
- Carim, S., G. Schwartz et M.F.F. da Silva. 2006. «Species richness, structure, and floristic composition of a 40 years old secondary forest in Eastern Amazon». *Acta Botanica Brasilica*, vol. 21, no 2, p. 293-308.
- Carim, S., G. Schwartz et M.F.F. da Silva. 2007. «Riqueza de espécies, estrutura composição florística de uma floresta secundária de 40 anos no leste da Amazônia». *Acta Botanica Brasilica*, vol. 21, no 2, p. 293-308.
- Chomitz, K., et T.S. Thomas. 2000. «Geographic Patterns of Land Use and Land Intensity». *WorldBank, Development Research Group*, Draft Paper. Washington, D.C.: World Bank.
- Cochrane, T. T., et P. A. Sánchez. 1982. «Land resources, soils and their management in the Amazon region : a state of knowledge report». Dans *Agriculture and Land Use Research, Proceedings of the International Conference on Amazonian Agriculture and Land Use Research. Amazonia. CIAT series 03E-3(82)*, sous la direction de S. Hecht, p. 137-209. Cali : Colombia.
- Cochrane, M.A., A. Alencar, M. D. Schulze, C. M. Souza Jr., D. C. Nepstad, P. Lefebvre, E.A. Davidson. 1999. «Positive Feedbacks in the Fire Dynamics of Closed Canopy Tropical Forests». *Science*, vol 284, p. 1832-1834.
- Coomes, O.T., F. Grimard et G.J. Burt. 2000. «Tropical forests and shifting cultivation :secondary forest fallow dynamics among traditional farmers of Peruvian Amazon». *Ecological Economics*, vol. 32, p. 109-124. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 131-160.
- CREDAL, 2001. En ligne : http://xxi.ac-reims.fr/fig-st-die/actes/actes_2001/expo/a/A1.html: Site visité le 28 février 2006.
- Davidson, E.A., C.J. Reis Carvahlo, I.C.G. Vieira, R. de O. Figueiredo, P. Moutinho, F.Y. Ishida, M.T. Primo do Santos, J.B. Guerrero, K. Kalif et R. Tuma Saba. 2004. «Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest». *Ecology Applications*, vol. 14, no 4, p. S150-S163.

- Davidson, R., E. Gaspar, J.R. Davée Guimaraes, M. Lucotte, D. Mergler, J. Saint-Charles. 2004. « Exposition au mercure, santé des écosystèmes et des populations humaines en Amazonie : de l'échelle locale à l'échelle régionale-Caruso III ». Deuxième rapport d'étape technique. Novembre 2003-novembre 2004. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UQAM, Biodôme de Montréal.
- Dechert, G., E. Veldkamp et I. Anas. 2004. «Is Soil Degradation Unrelated to Deforestation? Examining Soil Parameters of Land Use Systems in Upland Central Sulawesi, Indonesia». *Plant and Soil*, vol. 265, p. 197-209.
- Denevan, W.M., et J.M. Treacy. 1987. «Young managed fallows at Brillo Neuvo». *Adv. Eco. Bot.*, vol. 5, p. 8-46.
- Denich, M. 1991. «Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental Brasileira». Thèse de doctorat, Eschborn, Université Georg-August.
- Denich, M., K. Vielhauer, M.S. De A. Kato, A. Block, O.R. Kato, T.D. De Abreu Sa, W. Lucke et P.L.G. Vlek. 2004. «Mechanized Land Preparation in Forest-based Fallow Systems: The Experience from Eastern Amazonia». *Agroforestry Systems*, vol. 61, p. 91-106.
- Diemont, S.A.W., J.F. Martin, S.I. Levy-Tacher, R.B. Nigh, P.R. Lopez et J.D. Golicher. 2006. «Lacandon Maya forest management : Restoration of soil fertility using native tree species», *Ecological Engineering*, sous press
- Doran, I., B. Sisen et Z. Kaya. 2003. «The effects of compost prepared from waste material of banana plants on the nutrient contents of banana leaves». *Journal of Environmental Biology*, vol. 24, no 4, p. 437-444.
- Dorea, J.G., 2003. «Fish are central in the diet of Amazonian riparians : should we worry about their mercury concentrations?». *Environmental Research*, vol. 92, p. 232-244.
- Duchaufour P. 2001. *Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement*. 6^e édition, Dunod, Paris, 331p.
- Embrapa Amazônia Oriental. 2007. Solos. Área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Documento no 332. In : Zoneamento ecológico-econômico da área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). En ligne: <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php> : Site consulté le 5 décembre 2007.
- FAO. 2003. «Terres et forêts d'Amazonie: Pour quoi et pour qui? », En ligne : <http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/C11-F.HTM> : Site consulté le 2 janvier 2008.

- Farella, N. 2005. «Les fermes des régions frontières d'Amazonie brésilienne : relations entre les origines familiales, les pratiques agricoles, les impacts sur les sols et le déboisement». Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 185 p.
- Farella N, R. Davidson, M. Lucotte, S. Daigle. 2007. «Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon): Recommendations for better farming». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 120, p. 449–462.
- Fearnside, P.M. 1997. «Human carrying capacity estimation in Brazilian Amazonia as a basis for sustainable development». *Environmental Conservation*, no 24, p. 271-282.
- Fearnside, P. M. 1999. «Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation». *Environmental Conservation*, no 26, p. 305-321.
- Fearnside, P.M. 2000. «Global Warming and Tropical Land-Use Change: Greenhouse Gas Emission from Biomass Burning, Decomposition and Soils in Forest Conversion, Shifting Cultivation and Secondary Vegetation». *Climatic Change*, vol. 46, p. 115-158
- Fearnside, P.M. 2005. «Deforestation in Brazilian Amazon: History, rates, and consequences». *Conservation Biology*, vol. 16, p. 680-688.
- Feldpausch, T.R., M.A. Rondon, E.C.M. Fernandes, S.J. Riha et E. Wandell. 2004. «Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia». *Ecological Applications*, vol. 14, no 4, p.S164-S176.
- Fillion, M., D. Mergler, C.J.S. Passos, F. Larribe, M. Lemire, J.R.D. Guimarães. 2006. «A preliminary study of mercury exposure and blood pressure in the Brazilian Amazon». *Environmental Health*, vol. 5, p. 29.
- Fostier, A. H., M.C. Forti, J.R.D. Guimarães, A.J. Melfi, R. Boulet, C.M. Espirito Santo et F.J. Krug. 2000. «Mercury fluxes in a natural forested Amazonian catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brazil)». *Science of the Total Environment*, vol. 260, no. 1-3, p. 201-211
- Frizano, J., D.R. Vann, A.H. Johnson et C.M. Johnson. 2003. «Labile phosphorus in soils of forest follows and primary forest in the Bragantina region, Brazil». *Biotropica*, vol. 35, no 1, p. 2-11.
- Gehring, C., P.L.G. Vlek, A.G. Luiz De Souza et M. Denich. 2005. «Biological nitrogen fixation in secondary regrowth and mature rainforest of central Amazonia». *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 111, no 1-4, p. 237-252.
- Hanazaki, N., J.Y. Tamashiro, H.F. Leitão-Filho et A. Begossi, 2000. «Diversity of plant uses in two *Caiçara* communities from the Atlantic forest coast, Brazil». *Biodiversity and Conservation*, vol. 9, p. 597-615.

- Hao, W.M. et D.E. Ward. 1993. «Methane production from global biomass burning». *Journal of Geophysical Research*, vol. 98, p. 657-661.
- Hartemink, A.E., R.J. Buresh, B. Jama et B.H. Janssen. 1996. «Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallow, weed fallow, and maize». *Soil Science Society*, vol. 60, p. 568-574.
- Hendershot, W. H., H. Lalonde et M. Duquette. 1993. «Ion exchange and exchangeable cations». Dans *Soil sampling and methods of analysis*, sous la direction de M. R. Carter, p.167-176. USA : Lewis Publishers
- Hese, H., W. Lucht, C. Schmullius, M. Barnsley, R. Dubayah, D. Knorr, K. Neumann, T. Riedel, K. Schroter. 2005. «Global biomass mapping for an improved understanding of the CO₂ balance- the Earth observation mission Carbone 3D». *Remote Sensing of Environment*, vol. 94, p. 94-104.
- Hölsher, D. Ludwig, B., Moller, R. F., Folster, H. 1997. «Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. Agriculture», *Ecosystems and Environment*, vol. 66, p.153-163.
- Houghton, R. A. 2005. «Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance». *Global Change Biology*, vol. 11, p. 945-958.
- Huges, R.F., J.B. Kauffman et D.L. Cummings. 2002. *Ecosystems*, vol. 5, p. 244-259.
- IBAMA. 2003. «Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção». Anexo à Instrução Normativa nº 3, do Ministério do Meio Ambiente, En ligne: <http://www.ibama.gov.br/fauna/downloads/lista%20spp.pdf>. : Site consulté le 5 janvier 2008.
- IDESP, 1990. Uruará.. IDESP. Municípios Paraenses, 16. Belém, 34 p.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2004. *Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite: Projeto Prodes*. En ligne: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>: Site consulté le 25 décembre 2007.
- Jordan, C.F. 1989. «An Amazonian rain forest : the structure and function of a nutrient stressed ecosystem and the impact of slash-and-burn agriculture». 176 p.
- Jordan, C.F., W. Caskey, G. Escalante, R. Herrera, F. Montangini, R. Todd et C. Uhl. 1983. «Nitrogen dynamics during conversion of primary Amazonian rainforest to slash and burn agriculture». *Oikos*, vol. 40, p. 131-139.
- Kleinman, P.J.A., D. Pimentel et R.B. Bryant. 1995. «The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 52, p. 234-249.

- Kotto-Same, J., P.L. Woomer, M. Appolinaire et Z. Louis. 1997. «Carbon dynamics in slash-and-burn agriculture and land use alternative of the humid forest zone in Cameroon». *Agriculture, Ecosystem and Environment*, vol. 65, p. 245-256.
- Laurance W. F. 2000. «Mega-development trends in the Amazon : implications for global change». *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 61, p. 113-122.
- Lawrence, D., et W.H. Schlesinger. 2001. «Changes in soil phosphorus during 200 years of shifting cultivation in Indonésia». *Ecology*, vol. 82, p. 2769-2780.
- Leakey^A, R.R.B. 1999. «Agroforestry for biodiversity in farming systems». Dans *Biodiversity in agroecosystems* sous la direction de Collins, W.W. et C.O. Qualset, p. 127-144. Boca Raton, London, New York, Washington: CRC Press.
- Leakey^B, R.R.B. 1999. «Potential for food products from agroforestry trees: a review». *Food Chemistry*, vol. 66, p. 1-14.
- Lebel J., M. Roulet, D. Mergler, M. Lucotte, F. Larribe. 1997. «Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population». *Water, Air and Soil Pollution*, no 97, p. 31-44.
- Léna, P. 1992. «Trajectoires sociales, mobilité spatiale et accumulation paysanne en Amazonie brésilienne : un exemple en Rondônia». *Cah. Sci. Hum.*, vol. 28, p.209-234.
- Lucotte, M., et B. d'Anglejan. 1985. «A comparison of several methods for the determination of iron hydroxydes and associated orthophosphates in estuarine particulate matter». *Chemical Geology*, vol. 48, p. 257-264.
- Mackensen, J., D. Hölscher, R. Klinge et H. Fölster. 1996. «Nutriment transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia». *Forest Ecology and Management*, vol. 86, p. 121-128.
- Magarelli, G., et A. H. Fostier. 2005. «Influence of Deforestation on the Mercury Air/Soil Exchange in the Negro River Basin, Amazon». *Atmospheric Environment*, vol. 39, p. 7518-7528.
- Mainville N, J. Webb, M. Lucotte, R. Davidson, O. Betancourt, E. Cueva et D. Mergler. 2006. «Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River valley, Ecuador». *The Science of the Total Environment*, vol. 368, p. 88-98.
- Maurice-Bourgoin, L., L. Alanoca, P. Fraizy, P. Vauchel. 2003. «Sources of mercury in surface waters of the upper Madeira erosive basins, Bolivia». *Journal de Physique. IV*, vol. 107, no 3, p. 855-858.

- Maynard, D. G. and Y. P. Kalra. 1993. «Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen». Dans *Soil Sampling and Methods of Analysis*, sous la direction de M. R. Carter, p. 25-38. U.S.A.: Lewis Publishers.
- McGrath, D. A., K. C. Smith, H. L. Gholz et F. de Assis Oliveira. 2001. «Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia». *Ecosystems*, vol. 4, p. 625-646.
- Mesquita, E. Moran, P. Delamonica, M. Ducey, G. Hurtt, C. Salimon et M. Denich, 2005. «Legacy of Fire Slows Carbon Accumulation in Amazonian Forest Regrowth» *The Ecological Society of America*, vol. 3, no 7, p. 365-369.
- Metzger, J. P. R. 2002. «Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon)». *Landscape Ecology*, vol. 17, no 5, p. 419-431.
- Miretzky, P., M. C. W. F. Jardim et J. C. Rocha. 2005. «Factors affecting Hg (II) adsorption in soils from the Rio Negro basin (Amazon)». *Química nova*, vol. 28, no 3, p. 438-443.
- Moran, E.F., S. E. Bondizio, J.M. Tucker, M.C. da Silva-Forsberg, S. McCracken et I. Falesi. 2000. «Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazônia». *Forest Ecology and Management*, vol. 139, p. 93-108.
- Mutuo, P.K., G. Cadish, A. Albrecht, C.A. Palm et L. Verchot. 2005. «Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 71, p. 43-54.
- Neeff, T., R.M. Lucas, J.R.D. Santos, E.S. Brondizio, C.C. Freitas. 2006. «Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978-2002: An empirical estimate». *Ecosystems*, vol. 9, no 4, p. 609-623.
- Olivier, R., C.F. Njiti et J.M. Harmand. 2000. «Analyse de la durabilité de la fertilité acquise suite à des jachères arborées au Nord-Cameroun». *Étude et gestion des sols*, vol. 7, no 4, p. 287-309.
- Passos C.J., D. Mergler, E. Gaspar, S. Morais, M. Lucotte, F. Larribe et S. Grosbois. 2001. «Caracterização geral do consumo alimentar de uma população ribeirinha na Amazônia Brasileira». *Revista Saúde e Ambiente*, vol. 4, p. 72-84.
- Penã-Carlos, M. 2003. «Changes in forest structure and species composition during secondary forest succession in the Bolivian Amazon». *Biotropica*, vol. 34, no 4, p. 450-461.
- Perz, S., et R. Walker. 2002. «Household Life Cycles and Secondary Forest Cover Among Small Farm Colonists in the Amazon». *World Development*, vol. 30, no 6, p. 1009-1027.
- Perz, S.G., et D.L. Skole. 2003. «Social Determinants of Secondary Forests in the Brazilian Amazon». *Social Science Research*, vol. 32, p. 25-60.

- Phirke, N.V., et R.M. Kothari. 2005. «Conservation and recycling of banana orchard waste : The need of time for Indian banana growers». *Ecology, Environment and Conservation*, vol. 11, no. 2, p. 211-218.
- Pichet, P., K. Morrison, I. Rheault et A. Tremblay. 1999. «Analysis of total mercury and methylmercury in environmental samples». Dans *Mercury in the biogeochemical cycle* sous la direction de Marc Lucotte, C. Langlois et A. Tremblay, p. 41-52. Berlin : Springer.
- Place, F., Dewees, P., 1999. «Policies and incentives for the adoption of improved fallows». *Agroforestry Systems*, vol. 47, p. 323-343.
- Plant Research International. 2005. Canoco, version 4.54. Wageningen, Netherlands. Programme statistique à l'ordinateur.
- Poorter, L. 1999. «Growth responses of 15 rain forest tree species to light gradient: The relative importance of morphological and physiological traits». *Functional Ecology*, vol. 13, no 3, p. 396-410.
- Ramadhani, T., R. Otsyina et S. Franzel. 2002. «Improving household incomes and reducing deforestation using rotational woodlots in Tabora district, Tanzania ». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 89, p. 229-239.
- Ramalho, M. 2006. Science and Development Network, En ligne : <http://www.scidev.net/News/index.cfm?fuseaction=readNews&itemid=3081&language=1> : Site consulté le 27 décembre 2007.
- Rheault, I., S. Chen, A. Béliveau, C. Patry. 2007. Guide d'échantillonnage et des méthodes analytiques utilisées pour les sols provenant du Brésil, Université du Québec à Montréal, Montréal, 21 p.
- Roosevelt, A.C., R.A. Housley, I. da Silvera, M. Maranca et R. Johnson. 1991. «Eighth millennium pottery from a prehistoric shell midden in the Brazilian Amazon». *Science*, vol. 254, p. 1621-1624.
- Roulet, M., M. Lucotte, A. Saint-Aubin, S. Tran, I. Rheault, N. Farella, E. de Jesus Da Silva, J. Dezencourt, C.-J. Sousa Passos, G. Santos Soares, J.-R. D. Guimaraes, D. Mergler et M. Amorim. 1998. «The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil». *The Science of the Total Environment*, vol. 223, p. 1-24.
- Salako, F.K., S. Hauser, O. Babalola et G. Tian. 2001. «Improvement of physical fertility of a degraded Alfisol with planted and natural fallows under humid tropical conditions». *Soil Use and Management*, vol. 17, p. 41-47.

- Salas, W. A. 2001. «Optical and Radar Remote Sensing of Land Use and Land Cover Change in the Tropics: An Assessment of Deforestation and Secondary Vegetation». University of New Hampshire, 189 p.
- Sarmiento L., et P. Bottner. 2002. «Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different follow times in the high tropical Andes : indications for fertility restoration». *Applied Soil Ecology*, vol. 19, p. 79-89.
- SAS Institute. 2003. JUMP, version 5.1. Logiciel informatique. Cary, NC, USA.
- Scatena, F.N., R.T. Walker, A.K.O. Homma, A.J. de Conto, C.A.P. Ferreira, R. de Amorim Carvalho, A.C.P.N da Rocha, A.I.M. dos Santos et P.M. de Oliveira. 1996. «Cropping and fallowing sequences of small farms in the terra firme landscape of the Brazilian Amazon: a case study from Santarém, Pará». *Ecological Economics*, vol. 18, p. 29-40.
- Schroth, G., L.F. Da Silva, R. Seixas, W.G. Teixeira, J.L.V. Macêdo Et W. Zech. 1999. «Subsoil Accumulation of Mineral Nitrogen Under Polyculture and Monoculture Plantations, Fallow and Primary Forest in a Ferralitic Amazonian Upland Soil». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 75, p. 109-120.
- Schroth, G., S. Agra D'angelø, W. G. Teixeira, D. Haag et R. Lieberei. 2002. «Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years». *Forest ecology and management*, vol. 163, no 1-3, p. 131-150.
- Schulz, B., B. Becker et E. Götsch. 1994. «Indigenous knowledge in a "modern" sustainable agroforestry system - a case study from eastern Brazil». *Agroforestry Syst.*, vol. 25, p. 59-69.
- Shanley, P., C.M. Cymerys et J. Galvão, 1998. *Frutíferas da mata na vida Amazônica*. Editora Supercores, Belém, Pará, Brésil.
- Shanley, P., et G. Medina. 2005. *Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica*. Belém : CIFOR, Imazon, 304 p.
- Simmons, C.S., R.T. Walker et C.H. Wood. 2002. «Tree planting by small producers in the tropics: A comparative study of Brazil and Panama». *Agroforestry Systems*, vol. 56, p. 89-105.
- Sioli, H., 1984. «Former and recent utilizations of Amazonia and their impact on the environment». Dans : H. SIOLI (Ed.), *The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 675-706.

- Smith, J., V. de Kop, P. Reategui, K. Lombardi, C.I. Sabogal, et A. Diaz. 1999. «Dynamics of Secondary Forests in Slash-and-Burn Farming: Interactions Among Land-Use Types in the Peruvian Amazon». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 76, p. 85-98.
- Smith, N.J.H., I.C. Falesi, P. Alvin et E.A.S. Serrão. 1996. «Agroforestry trajectories among smallholders in the Brazilian Amazon: innovation and resiliency in pioneer and older settled areas». *Ecological Economics*, vol. 18, p. 15-27.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2e Edition*. Unites States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 871 p.
- Swallow, B., D. Russell et C. Fay. 2006. «Agroforestry and environmental governance». Dans *World Agroforestry into the future*, chapitre 10, p. 85-94. World Agroforestry Centre.
- Sydenstricker-Neto, J. 2005. «The "Population Factor" and Deforestation in Brazilian Amazonia: Towards a Mediating Perspective». In *Annual Meeting, Population Association of America* (Philadelphia, 31 mars – 2 avril 2005).
- Synergie Software. 2000. Kaléidographe 3.5. Logiciel informatique.
- SYSTAT Software Inc. 2002. Sigma Plot version 9. Logiciel informatique.
- Szott, L. T., et C. A. Palm. 1996. «Nutrient stocks in managed and natural humid tropical fallows».
- Szott, L. T., C. A. Palm et R. J. Buresh. 1999. «Ecosystem Fertility and Fallow Function in the Subhumid Tropics», *Agroforestry Systems*, vol. 47, p. 196-199.
- Tinker, P.B., J.S.I. Ingram et S. Struwe. 1996. «Effects of slash-and-burn agriculture and deforestation on climate change». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 58, p.13-22.
- Toledo, M., et J. Salick. 2006. «Secondary succession and indigenous management in semideciduous forest fallow of the Amazon basin». *Biotropica*, vol. 38, p. 161-170.
- Triola, D., P. Chareyre et A. Buttler. 1998. «Distribution of primary forest plant species in 19 year old secondary forest in French Guiana». *Journal of Tropical Ecology*, vol. 14, no 3, p. 323-340.
- Uhl, C. 1987. «Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia». *Journal of Ecology*, vol. 75, no 2, p. 377-407.
- Vågen, T-G., M-A.A. Andrianorofanomezana et S. Andrianorofanomezana. 2006. «Deforestation and cultivation effects on characteristics of oxisols in the highlands of Madagascar». *Geoderma*, vol.131, p. 190-200.

- Valentin, C. et J. L. Janeau. 1990. «Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide (Côte d'Ivoire)». *ORSTOM, série Pédologie*, vol. 25, no 1-2, p. 41-52
- Verardo D.J, P.N. Froelich et A. McIntyre, 1990. «Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo-Erba NA-1500 analyzer». *Deep-Sea Res.*, vol. 37, no 1, p. 157-165.
- Walker, R. et A.K.O. Homma. 1996. «Land use and cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview». *Ecological Economics*, vol. 18, p. 67-80.
- Wick, B., E. Veldkamp, W.Z. De Mello, M. Keller et P. Crill. 2005. «Nitrous oxide fluxes and nitrogen cycling along a pasture chronosequence in Central Amazonia, Brazil». *Biogeosciences*, vol. 2, no 2, p. 175-187
- Wiersum, K.F. 1997. «Indigenous exploitation and management of tropical forest resources: an evolutionary continuum in forest-people interactions». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 63, p. 1-16.
- Zarin, D. J., E. A. Davidson, E. Brondizio, I. Vieira, T. Sa, T. Feldpausch, E. Schuur, R. Mesquita, E. Moran, P. Delamonica, M. Ducey, G. Hurtt, C. Salimon et M. Denich, 2005. «Legacy of Fire Slows Carbon Accumulation in Amazonian Forest Regrowth» *The Ecological Society of America*, vol. 3, no 7, p. 365-369.